









ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL u. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT u. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILH. HIS UND DR. WILH. BRAUNE,
PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1888.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1888.

ARCHIV

FÜR

PHYSIOLOGIE.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG DES

ARCHIVES FÜR ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

UNTER MITWIRKUNG MEHRERER GELEHRTEN

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1888.

MIT ABBILDUNGEN IM TEXT UND ACHT TAFELN.

LEIPZIG,

VERLAG VON VEIT & COMP.

1888.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Inhalt.

Calorimetrische Untersuchungen über die Wärmeproduction und Wärmeabgabe des Armes an Gesunden und Kranken.

Von

Carl Rosenthal.

(Aus dem physiologischen Institut des Hrn. Prof. Dr. J. Rosenthal in Erlangen.)

Die grosse Bedeutung und Wichtigkeit einer genaueren Kenntniss der Production und Abgabe der Wärme im thierischen Organismus sowohl für den Physiologen als auch für den praktischen Mediciner ist eine so in die Augen fallende, dass wohl Niemand den Wunsch, einen weiteren Schritt in dieser Frage zu thun, als unberechtigt hinstellen wird. — Einleitend sei es mir gestattet, einen kurzgedrängten Ueberblick über die geschichtliche Entwickelung der uns hier interessirenden Frage zu geben. Die Ansicht der Alten über die Entstehung der thierischen Wärme, vertreten durch Hippokrates, und in ähnlicher Weise später durch Aristoteles und Galenus, lief darauf hinaus, dass das Wärme producirende Organ das Herz sei. In ihm werde das Blut auf seine Normaltemperatur erwärmt und durch die Circulation würde dann wiederum den einzelnen Organen die für ihre Lebensthätigkeit nothwendige Wärme zugeführt. Diese Ansicht blieb, wie so manche andere, lange Zeit hindurch die herrschende unter den Forschern und Aerzten, bis endlich die iatromechanische und die iatrochemische Schule mit anderen Erklärungen hervortrat. Erstere nahm, entsprechend der sie ganz beherrschenden Tendenz, die Reibung des Blutes an den Gefässwänden für ihre Auffassung in Anspruch; letztere glaubte, ihrer Richtung nicht minder getreu, dass es chemische Umsetzungen der resorbirten und dann in das Blut aufgenommenen Nährstoffe seien, welche die Quelle der thierischen Wärme darstellten. Alle diese Erklärungen beruhten aber nur auf

Hypothesen, die auch nicht einmal durch den Schein eines Beweises glaubwürdig gemacht werden konnten. Erst nach der Erfindung des Thermometers durch Galilei (zwischen 1592 und 1597) wurde es möglich, durch genauere Messungen der Wärmeabgabe Schlüsse auf die Wärmeproduction zu ziehen. Und so war es Sanctorius (1626), der zuerst thermometrische Untersuchungen an Kranken anstellte. Haller gab eine Erklärung ab, welche derjenigen der iatromechanischen Schule sehr nahe kam. Andere Forscher, wie van Helmont, Descartes, Sylvius, Stevenson und Hamberger stellten die verschiedensten Theorien auf, deren genauere Wiedergabe den Rahmen der vorliegenden kleinen Arbeit weit überschreiten würde. Nicht zu übergehen ist aber Mayow, der mit seiner Theorie, dass die Wärme durch einen, der gewöhnlichen Verbrennung sehr ähnlichen Process, nämlich durch die Verbindung der „Particulae nitro-aëreae“ (worunter der Sauerstoff zu verstehen ist) der Luft, mit dem in den Lungen strömenden Blute, entstünde, der gleich zu erwähnenden epochemachenden Theorie Lavoisier's sehr nahe kam. Letzterer nämlich war es, der zuerst im Jahre 1772 es wahrscheinlich machte, dass eine Hauptwärmequelle des thierischen Organismus in der Verbrennung des Kohlenstoffes in den Lungen bestände. Zugleich war er es, der im Verein mit Laplace die ersten calorimetrischen Messungen ausführte. Man sollte nun meinen, dass diese so befriedigende Theorie Lavoisier's sogleich das Gemeingut aller Forscher hätte werden müssen; dem war aber nicht so. Vielmehr tauchten bald darauf noch viele andere Forscher mit auf den mannigfaltigsten Ansichten fussenden Theorien hervor, von denen hier nur noch der Name Crawford genannt sein möge. Nach diesen haben sich noch viele Gelehrte und Forscher mit gleichen und ähnlichen Untersuchungen, besonders auch über die regulatorischen Vorgänge bei der Eigenwärme, beschäftigt, unter denen besonders Scharling, Vogel, Hirn, Leyden und Senator zu nennen sind, ohne dass jedoch die Ergebnisse ihrer Untersuchungen Anspruch auf Genauigkeit erheben könnten; ein Umstand, der wohl einestheils in der Schwierigkeit der betreffenden Untersuchungen selbst, anderntheils aber in der Ungenauigkeit und Unbehülflichkeit der angewandten Apparate begründet liegt. Dieser Apparate, Calorimeter genannt, giebt es eine grosse Anzahl, deren Einrichtungen auf den verschiedensten Principien beruht. Zu den bekanntesten gehören das Calorimeter von Favre und Silbermann und das Wassercalorimeter von Dulong. Letzteres beruht auf dem physikalischen Princip, dass zur Erwärmung einer bestimmten Quantität Wassers auf irgend eine bestimmte Temperatur eine bestimmte Menge Wärme producirt werden muss; beim ersteren wurde statt des Wassers Quecksilber angewendet, was den Vortheil hat, dass die Erwärmung des Quecksilbers sich zugleich durch seine Ausdehnung zu erkennen giebt. Aehnlich con-

struirt war der Apparat, dessen sich Despretz und Senator bei ihren Untersuchungen über die Wärmeproduction der Thiere bedienten. Ein fernerer, nicht minder bekannter Apparat, ist das von Lavoisier und Laplace construirte Eiscalorimeter, bei welchem die abgegebene Wärmemenge durch die Menge des geschmolzenen Eises bestimmt wird. Doch sind die mit diesem Apparate angestellten Messungen deswegen als ungenaue zu bezeichnen, weil ein Theil des geschmolzenen Eises zwischen den Eisstücken, mit denen der Apparat angefüllt ist, zurückgehalten und auf diese Weise der Messung entzogen wird. Wenn dieser Fehler nun auch bei dem Eiscalorimeter Bunsen's und noch verschiedenen anderen vermieden wird, so sind andererseits diese Apparate nur zur calorimetrischen Messung kleinerer Körper verwendbar. Leyden construirte ferner ein Calorimeter, das zur Aufnahme einer unteren Extremität eingerichtet, besonders zur Messung der Wärmeabgabe bei Fieberkranken bestimmt war. Schliesslich sei noch das Verdampfungscalorimeter von J. Rosenthal erwähnt, dessen Princip darauf beruht, dass zum Verdampfen einer bestimmten Flüssigkeitsmenge, genau so wie zum Schmelzen einer bestimmten Menge Eises, eine bestimmte Wärmemenge nothwendig ist. Als Verdampfungsflüssigkeit wurde bei diesem Apparate, der ganz besonders physiologischen Zwecken dienen soll, entweder Acetylaldehyd ($CH_3 . COOH$), dessen Siedepunkt bei 21° liegt, oder Aethyläther ($C_2H_5 . O . C_2H_5$), welcher bei 34·9° siedet, angewandt.

Auf Veranlassung meines hochverehrten Onkels und Lehrers, Hrn. Professors Dr. J. Rosenthal, habe ich es nun unternommen, eine Reihe calorimetrischer Untersuchungen mit einem neuen, zu diesem Behufe von Prof. J. Rosenthal eigens angegebenen Apparate, dessen Beschreibung sogleich folgt, anzustellen.

Beschreibung des Calorimeters.

Das zu meinen Untersuchungen benutzte Calorimeter besteht im Wesentlichen aus zwei Systemen je drei in einander geschachtelter Blechcylinder von einer Länge von 72 cm und einem Durchmesser von 34 cm. Diese beiden Cylindersysteme ruhen horizontal neben einander auf einem Holzgestell, welches nur zu dem Zwecke angebracht ist, um den Apparat bequem transportiren und ihn am Krankenbette in jeder beliebigen Lage aufstellen zu können. Das Wesentlichste an dem Calorimeter bildet der Zwischenraum zwischen dem innersten und dem mittleren Cylinder. Jeder dieser beiden Räume communicirt durch eine mittels eines Hahnes luftdicht zu verschliessende Glasröhre mit der Aussenwelt, beide sind ferner mit einander durch ein mit gefärbtem Petroleum gefülltes und mit einer in Centimeter und halbe Centimeter getheilten Scala versehenes Manometer verbunden.

Weiterhin ist in jedem dieser beiden Binnenräume ein Thermometer eingesenkt. Auf diese Weise bildet ein jedes dieser beiden Cylindersysteme je ein Luftthermometer und beide zusammen ein Differentialluftthermometer. Die beiden äusseren Cylinder dienen lediglich dem Zwecke, den Einfluss der Umgebungstemperatur möglichst zu paralysiren. Die inneren Cylinder sind so gross gewählt, dass der Arm eines erwachsenen, grossen Mannes bequem in denselben Platz findet. Zum besseren Aufstützen des Armes im Apparate befinden sich einige Schweben in demselben.

Ausführung des Experimentes.

Zum Zwecke der Ausführung physiologischer Experimente, die zum grossen Theile an mir selbst, zum anderen Theile an anderen gesunden Versuchspersonen angestellt wurden, wurde der ganze Apparat auf einen mässig hohen Tisch gestellt. Die Versuchsperson setzte sich auf einem Stuhle, der gelegentlich mit einem Kissen versehen wurde, vor den Apparat und brachte je nach der Art des Versuches nur einen Arm in einen Cylinder, oder beide Arme in je einen derselben. Die Arme wurden so weit, als es irgend möglich war, in den Apparat gebracht und dann um dieselben und zwischen sie und den Rand des Cylinders eine Schicht Watte gelegt, einmal um den Druck zu vermindern, und dann, um einen möglichst vollkommenen Abschluss zu erzielen. Bei der Anstellung pathologischer Versuche an bettlägerigen Kranken wurde der Apparat neben dem Bette des Kranken entweder auf einige Stühle oder besser auf einen eigens dazu hergerichteten Holzbock gestellt und zwar so, dass die Oeffnung des inneren Cylinders mit der Schulter des betreffenden Patienten in gleicher Höhe sich befand. Auf diese Weise konnten die Versuche fast ohne jedwelche Belästigung der Kranken selbst auf mehrere Stunden ausgedehnt werden.

Bringt man nun einen Arm in einen der beiden inneren Cylinder hinein, so wird die von demselben abgegebene Wärme die Temperatur der Luft in diesem Cylinder und bald auch diejenige in dem Zwischenraum zwischen dem inneren und mittleren Cylinder erhöhen. Da nun aber diese beiden Cylinder ihrerseits wiederum Wärme an ihre Umgebung abgeben, so wird erst nach einer gewissen Zeit ein Moment eintreten, in welchem die vom Arme abgegebene Wärme genau gleich der von den Cylindern abgegebenen ist. Dieser Moment wird am Stillstand des Manometers erkannt; sobald nämlich der Arm in den Cylinder gebracht ist, drückt die erwärmte und dadurch ausgedehnte Luft die Manometerflüssigkeit allmählich mehr oder weniger schnell auf der einen Seite herab, auf der anderen hinauf. Erst wenn das Manometer zum Stillstand gelangt ist, ist das Gleichgewicht zwischen der Wärmeabgabe des betreffenden Armes und der

des Cylinders eingetreten. Ist dies einmal geschehen, so bleibt das Manometer constant auf der einmal erreichten Höhe unter sonst gleich gebliebenen Verhältnissen. Es fragt sich nun, ob man aus diesem empirisch gefundenen Maass der Wärmeabgabe des Armes auf seine Wärmeproduction und weiterhin auf diejenige des ganzen Körpers Schlüsse zu ziehen berechtigt ist. Da im Arme das Blut des ganzen Körpers circulirt und dieses Blut ja eben, wenn auch nicht der Producent, so doch der Träger der Körperwärme ist, und da ferner im Arme ebenfalls ganz unabhängig vom übrigen Körper Wärme producirt wird, so ist es nicht abzusehen, warum in ihm andere Verhältnisse bezüglich der Wärmeproduction und der Wärmeabgabe als im ganzen übrigen Körper herrschen sollten. Aus diesen Gründen ist wohl obige Frage anstandslos zu bejahen.

Bei meinen Untersuchungen, die sich auf die Wärmeabgabe unter sehr verschiedenen physiologischen und pathologischen Verhältnissen beziehen, hat es sich herausgestellt, dass eine ziemlich constante Proportion besteht zwischen der Zahl, die den Stand des Manometers angiebt, und der Differenz der Temperaturen in den beiden Zwischenräumen zwischen innerem und mittlerem Cylinder; wie es nach der Theorie des Apparates erwartet wurde.

Während der Arm im Apparat liegt, giebt er fortwährend Wärme an den ihn umgebenden Luftraum ab. In dem Maasse, als in diesem die Temperatur steigt, verliert er aber auch Wärme nach aussen. Seine Temperatur steigt also so lange, bis die Wärmeverluste dem Wärmezuwachs gleich werden. Nun hängt der Wärmeverlust ab von der Differenz der Temperatur des Apparats und der Umgebung. Also muss diese Differenz um so grösser sein, je höher die Wärmezufuhr von innen her ist. Da aber die Temperaturdifferenz der beiden Cylinder durch den Manometerstand gemessen wird, so können wir diesen als Maassstab benutzen und aus ihm auf die Wärmeproduction des Armes schliessen.

Im Folgenden gedenke ich nun meine Untersuchungen, die sich über eine Reihe von 72 Experimenten unter den verschiedensten äusseren Bedingungen erstrecken, *in extenso* mitzutheilen, und will nur zur leichteren Orientirung die Bedeutung der in den verschiedenen Columnen untergebrachten Zahlen vorweg erläutern. In der ersten Columne sind die Temperaturangaben des benutzten Cylindersystems angegeben, die folgende zeigt den Beginn des Versuches und die Zeit der Ablesung des Manometers — anfangs wurden die Ablesungen von 5 zu 5 Minuten vorgenommen, später jedoch, als schon einigermaassen ein Ueberblick über die Zeit des Ansteigens ermöglicht war, in inconstanten längeren Zwischenräumen (10 bis 15 bis 20 Minuten) — die folgende Columne zeigt den Stand des Manometers an, die nächste die Differenzen dieses Standes in den jeweiligen

Ablesungszeiten; die letzte schliesslich, wenn sie nicht fortgelassen wurde, die Temperaturangaben des nicht benutzten Cylindersystemes. Werden beide Cylindersysteme zur gleichen Zeit benützt, so ändert sich dieses Verhältniss nur insofern, als die erste Columne immer die Temperatur des vom vor dem Apparate sitzenden Experimentator aus gerechneten linken Cylinders, die letzte Columne diejenige des rechten angiebt. —

Ausgehend von einer wenig glaubhaft klingenden Angabe Geigel's, dass nämlich der unbekleidete Arm eines Menschen nicht grösseren Wärmeverlust aufweise, als der bekleidete, begann ich die Reihe meiner Versuche damit, dass ich den Unterschied der Wärmeabgabe des bekleideten und unbekleideten Armes an mir selbst feststellte.

Ich übergehe eine Reihe von sechs Versuchen, die ersten, die ich anstellte, da es sich zeigte, dass der Apparat, der eine Zeit lang unbenutzt gestanden hatte, nicht richtig functionirte. Dagegen wurden sämmtliche übrigen Versuche mit genau und gut functionirendem Apparate ausgeführt.

A. Physiologische Versuche.

I. Versuch; an mir selbst. 24 Jahr. Kräftiger Körperbau; guter Ernährungszustand, Normaltemperatur. Geringer Panniculus adiposus. Körperlänge 176 cm, Körpergewicht 153 Pfund, Länge des linken Armes 83 cm, Umfang des linken Oberarms 26 cm. Wohlbefinden. $\frac{5}{4}$ Stunden nach dem Mittagessen. Anordnung: linker Arm nackt im rechten Cylinder; vollkommen ruhige Haltung.

Beginn 1·50 Uhr.
r. Therm. 15·4. l. Therm. 15·6.
1·50 Uhr: Gleichstand des Manomet.

Zeit		Differenz von	
1·55	„	Differenz von $11\frac{1}{2}$ cm	$11\frac{1}{2}$
2·0	„	„ „ $18\frac{1}{2}$ „	7
2·5	„	„ „ 24 „	$5\frac{1}{2}$
2·10	„	„ „ $27\frac{3}{4}$ „	$3\frac{3}{4}$
2·15	„	„ „ 31 „	$3\frac{1}{4}$
2·20	„	„ „ $33\frac{1}{4}$ „	$2\frac{1}{4}$
2·25	„	„ „ $34\frac{3}{4}$ „	$1\frac{1}{2}$
2·30	„	„ „ 36 „	$1\frac{1}{4}$
2·35	Uhr:	Differenz von $37\frac{1}{4}$ cm	$1\frac{1}{4}$
2·40	„	„ „ $38\frac{1}{4}$ „	1
2·45	„	„ „ $38\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
2·50	„	„ „ $38\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
2·55	„	„ „ $39\frac{3}{4}$ „	1
3·0	„	„ „ 40 „	$\frac{1}{4}$
3·5	„	„ „ $40\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{2}$
3·10	„	„ „ $40\frac{1}{2}$ „	0
3·15	„	„ „ $40\frac{1}{2}$ „	0

r. Therm. 25·2. l. Therm. 14·0.

Maximum von $40\frac{1}{2}$ erreicht um 3·5 Uhr, also nach 1 Stunde 15 Min.

II. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. Anordnung: linker Arm bekleidet mit einem langen wollenen Strumpf und Jägerhemd im rechten Cylinder.

Beginn: 4·0 Uhr.

r. Therm. 13·7. l. Therm. 13·3.

Uhr				
4·0	Uhr: Gleichstand des Manomet.			
4·5	„	Differenz von	$6\frac{1}{2}$ cm	$6\frac{1}{2}$
4·10	„	„ „	$10\frac{1}{2}$ „	4
4·15	„	„ „	$13\frac{1}{2}$ „	3
4·20	„	„ „	$15\frac{3}{4}$ „	$2\frac{1}{2}$
4·25	„	„ „	$17\frac{1}{2}$ „	$1\frac{3}{4}$
4·30	„	„ „	$18\frac{1}{2}$ „	1
4·35	„	„ „	$19\frac{1}{2}$ „	1
4·40	„	„ „	$20\frac{1}{2}$ „	1
4·45	Uhr:	Differenz von	$21\frac{1}{2}$ cm	1
4·50	„	„ „	$22\frac{3}{4}$ „	$1\frac{1}{4}$
4·55	„	„ „	$23\frac{3}{4}$ „	1
5·0	„	„ „	$24\frac{3}{4}$ „	1
5·5	„	„ „	$25\frac{1}{2}$ „	$\frac{3}{4}$
5·10	„	„ „	$26\frac{1}{2}$ „	1
5·15	„	„ „	27 „	$\frac{1}{2}$
5·20	„	„ „	27 „	0
5·25	„	„ „	27 „	0

r. Therm. 23·2. l. Therm. 14·8.

Maximum von 27 erreicht um 5·15 Uhr, also nach 1 Stunde 15 Min.

III. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $\frac{1}{2}$8 Uhr Kaffee mit Zubehör. Anordnung: wie bei Versuch I.

Beginn: 9·25 Uhr.

r. Therm. 9·6. l. Therm. 9·6.

Uhr				
9·25	Uhr: Gleichstand des Manomet.			
9·30	„	Differenz von	12 cm	12
9·35	„	„ „	$18\frac{3}{4}$ „	$6\frac{3}{4}$
9·40	„	„ „	$22\frac{3}{4}$ „	4
9·45	„	„ „	$25\frac{1}{2}$ „	$2\frac{3}{4}$
9·50	„	„ „	$27\frac{1}{2}$ „	2
9·55	„	„ „	$29\frac{1}{2}$ „	2
10·0	Uhr:	Differenz von	$31\frac{1}{2}$ cm	2
10·5	„	„ „	$33\frac{1}{4}$ „	$1\frac{3}{4}$
10·10	„	„ „	$34\frac{1}{2}$ „	$1\frac{1}{4}$
10·15	„	„ „	$35\frac{1}{2}$ „	1
10·20	„	„ „	$35\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
10·25	„	„ „	36 „	$\frac{1}{4}$
10·30	„	„ „	36 „	0
10.35	„	„ „	36 „	0

r. Therm. 24·0. l. Therm. 13·9.

Maximum von 36 erreicht um 10·25 Uhr, also nach 1 Stunde — Min.

IV. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $\frac{3}{4}$ Stunden nach dem Mittagessen. Anordnung: wie bei Versuch II.

Beginn: 1·30 Uhr.

r. Therm. 14·7. l. Therm. 14·7.

Uhr				
1·30	Uhr: Gleichstand des Manomet.			
1·35	„	Differenz von	$6\frac{3}{4}$ cm	$6\frac{3}{4}$
1·40	„	„ „	$12\frac{1}{2}$ „	$5\frac{3}{4}$
1·45	„	„ „	17 „	$4\frac{1}{2}$
1·50	„	„ „	$20\frac{1}{4}$ „	$3\frac{1}{4}$
1·55	„	„ „	$23\frac{1}{4}$ „	3
2·0	Uhr:	Differenz von	$25\frac{1}{2}$ cm	$2\frac{1}{4}$
2·5	„	„ „	$26\frac{1}{2}$ „	1
2·10	„	„ „	27 „	$\frac{1}{2}$
2·15	„	„ „	$27\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
2·20	„	„ „	$27\frac{1}{4}$ „	0
2·25	„	„ „	$27\frac{1}{4}$ „	0

r. Therm. 24·5. l. Therm. 14·9.

Max. von $27\frac{1}{4}$ erreicht um 2,15 Uhr, also nach — Stunden 45 Minuten. Nach längerer Dauer des Versuches leichtes Gefühl von Taubsein im Arm und besonders in der Hand.

V. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. Anordnung: rechter Arm bekleidet wie bei Versuch II im rechten Cylinder. Länge des rechten Armes 83 cm, Umfang des rechten Oberarmes 27 cm.

Beginn: 4·55 Uhr.
r. Therm. 17·7. l. Therm. 17·6.
4·55 Uhr: Gleichstand des Manomet.

Uhr		Differenz von		
5·0	„	Differenz von $5^{3}/_{4}$ cm		$5^{3}/_{4}$
5·5	„	„ „ $10^{3}/_{4}$	„	5
5·10	„	„ „ $14^{1}/_{4}$	„	$3^{1}/_{2}$
5·15	„	„ „ 17	„	$2^{3}/_{4}$
5·20	„	„ „ $19^{1}/_{4}$	„	$2^{1}/_{4}$
5·25	„	„ „ $21^{1}/_{2}$	„	$2^{1}/_{4}$
5·30	„	„ „ 23	„	$1^{1}/_{2}$
5·35 Uhr:		Differenz von $24^{1}/_{2}$	„	$1^{1}/_{2}$
5·40	„	„ „ 26	„	$1^{1}/_{2}$
5·45	„	„ „ 27	„	1
5·50	„	„ „ $27^{3}/_{4}$	„	$^{3}/_{4}$
5·55	„	„ „ $28^{1}/_{4}$	„	$^{1}/_{2}$
6·0	„	„ „ 29	„	$^{3}/_{4}$
6·5	„	„ „ $29^{1}/_{2}$	„	$^{1}/_{2}$
6·10	„	„ „ $29^{1}/_{2}$	„	0
6·15	„	„ „ $29^{1}/_{2}$	„	0

r. Therm. 25·7. l. Therm. 15·9.

Maximum von $29^{1}/_{2}$ erreicht um 6·5 Uhr, also nach 1 Stunde 10 Min. Rechte Hand schwitzt mässsig.

Vorstehende Versuchsreihe ergiebt also folgendes Resultat: Die Wärmeabgabe des unbekleideten linken Armes betrug $40^{1}/_{2}$, 36; die des bekleideten linken Armes 27, $27^{1}/_{4}$; die des bekleideten rechten Armes $29^{1}/_{2}$. Hieraus ergiebt sich deutlich die Unhaltbarkeit der von Geigel aufgestellten Behauptung, denn die Differenzen der vom bekleideten und unbekleideten Arme abgegebenen Wärmemengen zu Gunsten des bekleideten Armes sind in die Augen fallend.

Hier mögen noch zwei Versuche angeschlossen werden, die wegen einer plötzlich aufgetretenen Functionsstörung des Apparates abgebrochen werden mussten, die aber doch wenigstens so weit ausgeführt werden konnten, dass sie annähernd beweisend für meine obige Behauptung sind.

VI. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $^{1}/_{2}$9 Uhr Kaffee mit Zubehör. Anordnung wie bei Versuch II.

Beginn: 10·5 Uhr.
r. Therm. 18·7. l. Therm. 18·7.
10·5 Uhr: Gleichstand des Manomet.

Uhr		Differenz von		
10·10	„	Differ. von 6 cm		6
10·15	„	„ „ 11	„	5
10·20	„	„ „ $15^{1}/_{2}$	„	$4^{1}/_{2}$
10·25 Uhr:		Differ. von $18^{1}/_{2}$ cm		3
10·30	„	„ „ $20^{3}/_{4}$	„	$2^{1}/_{4}$
10·35	„	„ „ $22^{3}/_{4}$	„	2
10·40	„	„ „ $24^{1}/_{2}$	„	$1^{3}/_{4}$
10·45	„	„ „ ? 20 ?	„	$-4^{1}/_{2}$
10·50	„	„ „ $17^{1}/_{2}$	„	$-2^{1}/_{2}$

Hier musste der Versuch abgebrochen werden.

VII. Versuch, an mir selbst. Wolbefinden. 20 Minuten nach dem Mittagessen. Anordnung wie bei Versuch II.

Beginn: 12·50 Uhr.
r. Therm. 19·5. l. Therm. 19·6.

Zeit					
12·50 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.				
12·55 „	Differ. von	8	cm	8	
1·0 „	„ „	$13^{3}/_{4}$	„	$5^{3}/_{4}$	
1·5 „	„ „	$18^{1}/_{2}$	„	$4^{1}/_{2}$	
1·10 Uhr:	Differ. von	$22^{1}/_{2}$	cm	$4^{1}/_{4}$	
1·15 „	„ „	24	„	$1^{1}/_{2}$	
1·20 „	„ „	$25^{1}/_{2}$	„	$1^{1}/_{2}$	
1·25 „	„ „	$26^{1}/_{2}$	„	1	
1·30 „	„ „	$24^{1}/_{2}$	„	—2	

Hier musste wiederum, wegen plötzlichen Sinkens, der Versuch abgebrochen werden.

Bei beiden vorstehenden Versuchen kann man aus dem geringfügigen Steigen des Manometers in der letzten Zeit mit Leichtigkeit und auch mit ziemlicher Sicherheit den Stand bestimmen, den das Manometer mit Wahrscheinlichkeit in diesen Fällen angenommen haben würde, und dieser Stand stimmt mit den obigen Ergebnissen ziemlich genau überein.

Das Calorimeter wurde nach diesen Versuchen auseinandergenommen und mit grösstmöglicher Sorgfalt wieder zsammengesetzt, sodass in der Folge keinerlei Störungen von irgend welcher Bedeutung am Apparate mehr zu verzeichnen sind.

Der Versuch (I), bei dem das Maximum der Wärmeabgabe 30·5 betrug, zeigt uns, wie gross der Einfluss der Nahrungsaufnahme auf die Wärmeabgabe ist, und dass dieser Einfluss kein geringer sein kann, ist *a priori* anzunehmen, wenn man bedenkt, dass die Oxydation der Nahrungsstoffe im Organismus seine grösste Wärmeproductionsquelle darstellt. Dass hierbei trotzdem grosse Schwankungen bezüglich der Menge der abgegebenen Wärme vorkommen, ist ganz natürlich. Es kommt hier eben einmal die Art der aufgenommenen Nahrung, sowie die mehr oder weniger grosse Oxydationsfähigkeit des betreffenden Organismus in Betracht, andererseits ist aber diese letztere sicherlich auch im ganz normalen Körper eine sehr wechselnde. Eine recht gute Illustration für diese Annahmen bieten folgende zwei Versuche, welche, abgesehen davon, dass einmal der Arm bekleidet, das andere Mal unbekleidet war, und der eine Versuch in der Frühe nach ganz geringer Nahrungsaufnahme, der andere kurz nach dem Mittagessen vorgenommen wurde, unter sonst ganz gleichen äusseren Bedingungen standen.

VIII. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. $^{3}/_{4}$8 Uhr Kaffee mit wenig Brod. Anordnung wie bei Versuch I.

Beginn: 11·15 Uhr.
r. Therm. 19·7. l. Therm. 19·8

Zeit		Differenz von	
11·15 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
11·20	„ Differenz von	$8\frac{1}{2}$ cm	$8\frac{1}{2}$
11·25	„ „	„ 13	„ $4\frac{1}{2}$
11·30	„ „	„ $16\frac{1}{4}$	„ $3\frac{1}{4}$
11·35	„ „	„ $18\frac{1}{2}$	„ $2\frac{1}{4}$
11·40	„ „	„ $20\frac{1}{2}$	„ 2
11·45	„ „	„ 22	„ $1\frac{1}{2}$
11·50	„ „	„ $23\frac{1}{2}$	„ $1\frac{1}{2}$
11·55 Uhr:	Differenz von	$24\frac{3}{4}$ cm	$1\frac{1}{4}$
12·0	„ „	„ $25\frac{1}{2}$	„ $\frac{3}{4}$
12·5	„ „	„ 26	„ $\frac{1}{2}$
12·10	„ „	„ $26\frac{1}{2}$	„ $\frac{1}{2}$
12·15	„ „	„ $27\frac{1}{4}$	„ $\frac{3}{4}$
12·20	„ „	„ $27\frac{1}{2}$	„ $\frac{1}{4}$
12·25	„ „	„ $27\frac{1}{2}$	„ 0
12·30	„ „	„ $27\frac{1}{2}$	„ 0

r. Therm. 27·0. l. Therm. 19·0.

Maximum von $27\frac{1}{2}$ erreicht um 12·20 Uhr; also nach 1 Stunde 5 Minuten.

IX. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. Kurz nach dem Mittagessen. Anordnung wie bei Versuch II.

Beginn: 1·15 Uhr.
r. Therm. 18·7. l. Therm. 18·8.

Zeit		Differenz von	
1·15 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
1·20	„ Differenz von	6 cm	6
1·25	„ „	„ $11\frac{1}{4}$	„ $5\frac{1}{4}$
1·30	„ „	„ $15\frac{1}{4}$	„ 4
1·35	„ „	„ $18\frac{1}{2}$	„ $3\frac{1}{4}$
1·40	„ „	„ $20\frac{1}{2}$	„ 2
1·45	„ „	„ $22\frac{1}{2}$	„ 2
1·50 Uhr:	Differenz von	24 cm	$1\frac{1}{2}$
1·55	„ „	„ $25\frac{1}{4}$	„ $1\frac{1}{4}$
2·0	„ „	„ $26\frac{1}{4}$	„ 1
2·5	„ „	„ 27	„ $\frac{3}{4}$
2·10	„ „	„ $27\frac{1}{2}$	„ $\frac{1}{2}$
2·15	„ „	„ $27\frac{1}{2}$	„ 0
2·20	„ „	„ $27\frac{1}{2}$	„ 0

r. Therm 26·8. l. Therm. 18·8.

Maximum von $27\frac{1}{2}$ erreicht um 2·10 Uhr; also nach — Stunden 55 Minuten. Die vom Strumpfe bedeckte Hand schwitzt stark.

Obgleich vorhin klar bewiesen worden war, dass die Wärmeabgabe des bekleideten Armes eine weit geringere ist, als die des unbekleideten, so zeigt sich in diesem Falle der Einfluss der Nahrungsaufnahme auf die Steigerung der Wärmeabgabe so gewaltig, dass hier der bekleidete Arm genau so viel Wärme abgab und producirte, als der unbekleidete u. s. w. Hinzuzufügen ist noch, dass beide Versuche innerhalb etwa drei Stunden angestellt wurden. Es ist also klar ersichtlich, wie sehr man bei derartigen Versuchen auf alle begleitenden Umstände achten muss, falls man nicht zu falschen Resultaten gelangen will.

Auch der Einfluss der physiologischen täglichen Temperatursteigerung, die zwischen 5 und 7 Uhr des Abends eintritt, lässt sich im Versuche (V) deutlich erweisen. Während die Wärmeabgabe des bekleideten Armes in den übrigen Fällen die Höhe von $27\frac{1}{2}$ nicht überschritt, erreichte dieselbe

in jenem Versuche, der in die Zeit zwischen 5 und 7 Uhr Nachmittags fiel, eine Steigerung bis zu $29^{1}/_{2}$.

Die nun folgenden Versuche wurden in der mannigfachsten Weise modificirt. So wurde zuerst festgestellt, welchen Einfluss Bewegungen von Hand und Fingern auf die Wärmeabgabe und Wärmeproduction zeigen. Diese Versuche wurden in der Weise angestellt, dass, nachdem bei ruhiger und zwar absolut ruhiger Haltung des einen Armes in einem Cylinder der Stillstand des Manometers abgewartet und dieser Stand eine Zeit lang erhalten worden war, dann mit den betreffenden Fingern und der Hand Beuge-, Streck-, Pronations- und Supinationsbewegungen im Apparate ausgeführt wurden.

X. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. $^{3}/_{4}$8 Uhr Kaffee mit Zubehör. Anordnung wie bei Versuch I.

Beginn: 9·5 Uhr.
r. Therm. 7·9. l. Therm. 8·3.
9·5 Uhr: Gleichstand d. Manometers.

Zeit		Differenz von		
9·10	„	Differenz von	$13^{1}/_{2}$ cm	$13^{1}/_{2}$
9·15	„	„ „	$20^{1}/_{2}$ „	7
9·20	„	„ „	$25^{3}/_{4}$ „	$5^{1}/_{4}$
9·25	„	„ „	$28^{1}/_{2}$ „	$2^{3}/_{4}$
9·30	„	„ „	31 „	$2^{1}/_{2}$
9·35	„	„ „	$32^{3}/_{4}$ „	$1^{3}/_{4}$
9·40	Uhr:	Differenz von	$33^{3}/_{4}$ cm	1
9·45	„	„ „	$34^{1}/_{2}$ „	$^{1}/_{2}$
9·50	„	„ „	35 „	$^{1}/_{2}$
9·55	„	„ „	$35^{1}/_{2}$ „	$^{1}/_{2}$
10·0	„	„ „	$35^{3}/_{4}$ „	$^{1}/_{4}$
10·5	„	„ „	$35^{3}/_{4}$ „	0
10·10	„	„ „	$35^{3}/_{4}$ „	0

r. Therm. 16·9. l. Therm. 8·1.

Maximum von $35^{3}/_{4}$ erreicht um 10·0, also nach — Stunde 55 Min.

Von 10·10—10·20 Uhr Beuge- und Streckbewegungen der Finger und Pro- und Supinationsbewegungen der Hand im Apparate.

r. Therm.	Zeit		Differenz von			
	10·15	Uhr:	Differenz von	37 cm	$1^{1}/_{4}$	
17·4	10·20	„	„ „	$38^{3}/_{4}$ „	$1^{3}/_{4}$	
17·8	10.25	„	„ „	$40^{3}/_{4}$ „	2	
18·2	10·30	„	„ „	$41^{3}/_{4}$ „	1	
18·4	10·35	„	„ „	$42^{1}/_{4}$ „	$^{1}/_{2}$	
18·5	10·40	„	„ „	$42^{3}/_{4}$ „	$^{1}/_{2}$	
18·6	10·45	„	„ „	$42^{3}/_{4}$ „	0	
18·6	10·50	„	„ „	$42^{3}/_{4}$ „	0	l. Therm. 7·9

Während der Bewegungen Hitzegefühl, welches 7 Minuten nach dem Aufhören der Bewegungen einem intensiven Kältegefühl wich.

XI. Versuch. Nachdem im Versuch (III) der höchste Stand des Manometers mit 36 erreicht und bis 10·30 Uhr beibehalten war,

wurden von 10·30—10·40 Uhr die im vorigen Versuch (X) näher angegebenen Bewegungen ausgeführt:

10·30 Uhr: Differenz von 36 cm 0		10·50 Uhr: Differenz von 42 cm ½	
10·35 „ „ „ 39 „ 3		10.55 „ „ „ 42 „ 0	
10·40 „ „ „ 40½ „ 1½		11·0 „ „ „ 42 „ 0	
10·45 „ „ „ 41½ „ 1			

Vorstehend aufgezeichnete Versuche (X, XI) beweisen, dass auch ganz wenig ergiebige Bewegungen in ganz kurzer Zeit eine ganz erhebliche Steigerung der Wärmeabgabe und ebenso der Wärmeproduction verursachen. Dieses Resultat darf nicht Wunder nehmen, wenn man an die Ergebnisse der hieraufbezüglichen Untersuchungen von Hirn, J. Davy und Anderen denkt.

In einer ferneren Reihe von Versuchen wurde ebenfalls der Einfluss von Muskelaction untersucht, doch war hier die Anordnung der Versuche eine wesentlich andere. Es wurde nämlich, nachdem wiederum der höchste Stand des Manometers ermittelt war, der Arm aus dem Apparate herausgezogen, darauf eine gewisse Zeit lang mit demselben oder auch mit beiden Armen Streck- und Beugebewegungen unter Anwendung von zwei je 5 kgrm schweren eisernen Hanteln gemacht, dann der Arm wiederum in den Cylinder eingeführt und nun der höchste Stand des Manometers zum anderen Male abgewartet. Hierbei ist zu bemerken, dass, wenn man nach erreichtem höchsten Stande des Manometers den Arm aus dem Cylinder nahm, um ihn nach einiger Zeit ohne Aenderung der Versuchsverhältnisse wieder einzuführen, jedes Mal der vorher erreicht gewesene Manometerstand wieder eintrat.

XII. Versuch; an Johann Dietzinger. 23 Jahr. Dienstknecht. Kräftiger Körperbau; mässig guter Ernährungszustand. Normaltemperatur. Geringer Panniculus adiposus. Immer gesund gewesen. Geheiltes Gesichtseczem. Körperlänge 154 cm. Körpergewicht 125 Pfund. Länge des Armes 59 cm. Umfang des Oberarms 27 cm. Wohlbefinden. 12 Uhr Mittag. 2 Uhr Kaffee mit Brod. Kurz vor Beginn des Versuchs ¼ Liter Bier. Rechter Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·20 Uhr.	4·50 Uhr: Differ. von 26 cm 1¾
l. Therm. 21·0. r. Therm. 20·9.	4·55 „ „ „ 27¼ „ 1¼
4·20 Uhr: Gleichstand d. Manomet.	5·0 „ „ „ 27¾ „ ½
4·25 „ Differ. von 9 cm 9	5·5 „ „ „ 28½ „ ¾
4·30 „ „ „ 14½ „ 5½	5·10 „ „ „ 29 „ ½
4·35 „ „ „ 18¾ „ 4¼	5·15 „ „ „ 29 „ 0
4·40 „ „ „ 22 „ 3¼	5·20 „ „ „ 29 „ 0
4·45 „ „ „ 24¼ „ 2¼	l. Therm. 29·3. r. Therm. 21·2.

Hand schwitzt ziemlich stark; D. giebt an, überhaupt unter allen Verhältnissen leicht zu schwitzen. Maximum von 29 erreicht um 5·10 Uhr; also nach — Stunde 50 Minuten.

5·20 Uhr: 1 Minute Hantelübungen mit beiden Armen, darauf Pause, dann wiederum 1 Minute Uebungen.

Unterdessen war das Manometer auf 18 gefallen.

l. Therm. 27·3. r. Therm. 21·2.

5·23 Uhr:	Differ. von	18 cm	
5·24 „	„ „	$19^1/_4$ „	$1^1/_4$
5·25 „	„ „	23 „	$3^3/_4$
5·30 „	„ „	$25^1/_4$ „	$2^1/_4$
5·35 „	„ „	$26^1/_4$ „	1
5·40 „	„ „	27 „	$^3/_4$
5·45 Uhr:	Differ. von	$27^1/_4$ cm	$^1/_4$
5·50 „	„ „	$27^3/_4$ „	$^1/_2$
5·55 „	„ „	$28^1/_4$ „	$^1/_2$
6·0 „	„ „	$28^1/_2$ „	$^1/_4$
6·5 „	„ „	$28^1/_2$ „	0
6·10 „	„ „	$28^1/_2$ „	0

l. Therm. 29·6. r. Therm. 21·0.

Das jetzt erreichte Maximum beträgt also nur $28^1/_2$.

XIII. Versuch; an Johann Dietzinger. Wohlbefinden. $^1/_2$7 Uhr $^1/_2$ Liter Kaffee mit Milch, zwei Brödchen. Rechter Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 8·40 Uhr.

l. Therm. 24·3. r. Therm. 24·1.

8·40 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
8·50 „	Differ. von	$11^1/_4$ cm	
9·0 „	„ „	$16^1/_4$ „	5
9·10 „	„ „	$18^3/_4$ „	$2^1/_2$
9·20 Uhr:	Differ. von	20 cm	$1^1/_4$
9·25 „	„ „	$20^1/_4$ „	$^1/_4$
9·30 „	„ „	$20^1/_4$ „	0
9·35 „	„ „	$20^1/_4$ „	0

l. Therm. 29·3. r. Therm. 21·7.

Maximum von $20^1/_4$ erreicht um 9·25 Uhr; also nach — Stunde 45 Minuten.

9·35 Uhr: Hantelübungen ca. 4 Minuten mit Pausen, wie im vorigen Versuch (XII).

l. Therm. 27·8. r. Therm. 21·7.

9·40 Uhr:	Differ. von	14 cm	
9·45 „	„ „	16 „	2
9·50 „	„ „	18 „	2
9·55 „	„ „	$19^1/_4$ „	$1^1/_4$
10·0 Uhr:	Differ. von	$19^3/_4$ cm	$^1/_2$
10·5 „	„ „	$19^3/_4$ „	0
10·10 „	„ „	$19^3/_4$ „	0

l. Therm. 29·2. r. Therm. 22·3.

Das jetzt erreichte Maximum beträgt also nur $19^3/_4$.

XIV. Versuch; an Paulus Gierer. 30 Jahr. Bierfahrer. Sehr kräftiger Körperbau; guter Ernährungszustand. Normaltemperatur. Ziemlich starker Panniculus adiposus. Immer gesund gewesen. Schanker, seit 5 Wochen. Sehr gebessert. Trinker (6 bis 11 Liter Bier pro Tag). Körper-

länge 177 cm. Körpergewicht 137 Pfund. Länge des Armes 88 1/2 cm. Umfang des Oberarmes 27 cm. Wohlbefinden. Von 1/2 9 bis 1/2 10 Uhr angestrengte Arbeit. 7 Uhr Kaffee mit Brod. 1/4 10 Uhr Milch mit Brod. Versuch direct nach der Nahrungsaufnahme begonnen (cf. Versuch I.). Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 9·30 Uhr.
l. Therm. 19·5. r. Therm. 19·4.

Zeit		Differ.	
9·30 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
9·45 „	Differ. von	17 3/4 cm	
10·0 „	„ „	22 3/4 „	5
10·10 „	„ „	24 3/4 „	2
10·20 „	„ „	26 „	1 1/4
10·25 Uhr:	Differ. von	26 1/2 cm	1/2
10·30 „	„ „	26 3/4 „	1/4
10·35 „	„ „	27 „	1/4
10·40 „	„ „	27 „	0
10·45 „	„ „	27 „	0

l. Therm. 27·4. r. Therm. 19·5.

Maximum von 27 erreicht um 10·35 Uhr; also nach 1 Stunde 5 Min.

10·45 Uhr: 5 Minuten hindurch mit dem linken Arme Hantelübungen mit kleinen Pausen.

l. Therm. 25·8. r. Therm. 19·3.

Zeit		Differ.	
10·50 Uhr:	Differ. von	19 cm	
10·55 „	„ „	24 1/4 „	5 1/4
11·5 „	„ „	25 3/4 „	1 1/2
11·10 „	„ „	26 „	1/4
11·15 Uhr:	Differ. von	26 1/4 cm	1/4
11·20 „	„ „	26 1/4 „	0
11·25 „	„ „	26 1/4 „	0

l. Therm. 26·4. r. Therm. 18·8.

Das jetzt erreichte Maximum beträgt also nur 26 1/4.

Bei allen drei vorstehenden Versuchen kann man übereinstimmend constatiren, dass niemals nach den Hantelübungen diejenige Höhe der Wärmeabgabe wiedererreicht wurde, die vorher zu verzeichnen gewesen war, obgleich allerdings die Differenzen (1/2, 3/4) nur minimal sind. Da nun aber ohne allen Zweifel Muskelactionen Wärme und zwar in erheblichem Maasse produciren, so muss man diese auffallende Erscheinung wohl so erklären, dass, noch während der Arm ausserhalb des Apparates sich befindet und arbeitet, ein grosser Theil des Wärmeüberschusses, oder vielleicht der ganze Wärmeüberschuss durch irgend welche compensatorische Einrichtungen nach aussen hin abgegeben wird. Als wahrscheinliche Ursache dieses vermehrten Verlustes ist vermuthlich die erhöhte Berührung des Armes mit der kälteren Luft anzusehen. Ob die starke, durch die Muskelaction bedingte Vermehrung der Wärmeproduction und in Folge dessen auch der Wärmeabgabe auch dahin wirkt, dass die Production nach dem Aufhören der Muskelanstrengung geringer wird als vor derselben, wie man es nach den Versuchsergebnissen wohl anzunehmen berechtigt wäre, das muss noch dahingestellt bleiben.

Ebenso wichtig als interessant ist die Frage nach der Einwirkung des Alkohols, von dem man annimmt, dass er, in mässigen Dosen genossen, temperaturherabsetzend wirke, und zwar dadurch, dass durch die veränderte Blutcirculation ein vermehrter Wärmeverlust stattfinde. Ich stelle hier vorläufig alle hierauf bezüglichen Versuche zusammen, um sie dann nachher kritisch zu sichten.

XV. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. Rechter Arm nackt im linken Cylinder. $\frac{1}{2}7$ Uhr Kaffee mit Zubehör.

Beginn: 9·10 Uhr.

l. Therm. 12·0. r. Therm. 12·0.

9·10 Uhr: Gleichstand des Manomet.

9·15 „ Differenz von 15 cm

9·20 „ „ „ 23 „ 8

9·25 „ „ „ $28\frac{1}{2}$ „ $5\frac{1}{2}$

9·30 „ „ „ $31\frac{1}{2}$ „ 36

9·35 Uhr: Differenz von 34 cm $2\frac{1}{2}$

9·40 „ „ „ $35\frac{1}{4}$ „ $1\frac{1}{4}$

9·45 „ „ „ $36\frac{1}{4}$ „ 1

9·50 „ „ „ $36\frac{3}{4}$ „ $\frac{1}{2}$

9·55 „ „ „ $36\frac{3}{4}$ „ 0

10·0 „ „ „ $36\frac{3}{4}$ „ 0

l. Therm. 29·8. r. Therm. 18·2.

Maximum von $36\frac{3}{4}$ erreicht um 9·50 Uhr, also nach — Stunde 40 Minuten.

10·0 Uhr: 25 grm gewöhnlichen Getreidekümmels auf ein Mal getrunken.

l. Therm. 30·0. r. Therm. 18·2.

10·0 Uhr: Differenz von $36\frac{3}{4}$ cm

10·5 „ „ „ $42\frac{1}{4}$ „ $5\frac{1}{2}$

10·15 „ „ „ $45\frac{1}{4}$ „ 3

10·20 Uhr: Differenz von $47\frac{1}{2}$ „ $2\frac{1}{4}$

10·25 „ „ „ $47\frac{1}{2}$ „ 0

10·30 „ „ „ $47\frac{1}{2}$ „ 0

l. Therm. 31·0. r. Therm. 18·9.

Nach 10·0 Uhr starkes Schwitzen von Hand und Arm.

XVI. Versuch, an Beschel, 32 Jahr. Literat. Mässig kräftiger Körperbau, ziemlich guter Ernährungzustand. Normaltemperatur. Sehr starker Panniculus adiposus. Im Jahre 1876 Typhus abdominalis mit zwei Recidiven, sonst immer gesund gewesen. Schanker, beinahe geheilt. Körperlänge 156 cm. Körpergewicht 159 Pfund. Länge des Armes 61 cm, Umfang des Oberarmes $29\frac{1}{2}$ cm. B. giebt zwar nicht zu, Potator zu sein, macht aber den vollständigen Eindruck eines Alkoholisten. Wohlbefinden. 7 Uhr: Kaffee mit Zubehör. 9 Uhr: $\frac{1}{4}$ Liter Milch, $\frac{1}{2}$ Brödchen. Rechter Arm im linken Cylinder.

Beginn: 11·0 Uhr.

l. Therm. 21·3. r. Therm. 20·8.

11·0 Uhr: Gleichstand des Manomet.

11·5 „ Differenz von $5\frac{3}{4}$ cm

11·10 „ „ „ $8\frac{3}{4}$ „ 3

11·15 „ „ „ $10\frac{3}{4}$ „ 2

11·20 „ „ „ $12\frac{1}{2}$ „ $1\frac{3}{4}$

11·25 „ „ „ $13\frac{3}{4}$ „ $1\frac{1}{4}$

11·30 Uhr: Differenz von $15\frac{3}{4}$ cm 2

11·35 „ „ „ $16\frac{1}{2}$ „ $\frac{3}{4}$

11·40 „ „ „ $18\frac{1}{4}$ „ $1\frac{3}{4}$

11·45 „ „ „ $18\frac{1}{2}$ „ $\frac{1}{4}$

11·50 „ „ „ $18\frac{1}{2}$ „ 0

11·55 „ „ „ $18\frac{1}{2}$ „ 0

l. Therm. 27·9. r. Therm. 21·8.

Maximum von $18^{1}/_{2}$ erreicht um 11·45 Uhr, also nach — Stunde 45 Minuten.

11·55 Uhr: 50 ^{grm} Schnaps.

l. Therm. 28·0. 12·0 Uhr: Differenz von **$18^{3}/_{4}$** ^{cm} $^{1}/_{4}$ r. Therm. 21·8.
12·5 „ „ „ $18^{3}/_{4}$ „ 0
l. Therm. 28·0. 12·10 „ „ „ $18^{3}/_{4}$ „ 0 r. Therm. 21·9.

In der Mehrzahl der nun folgenden Versuche ist nicht nach je einem vollendeten Versuche der Gleichstand des Manometers abgewartet worden, es geschah dies lediglich der Zeitersparniss halber.

XVII. Versuch, an Johann Baltheisser. Schuhmacher. 24 Jahr. Schwächlicher Körperbau, schlechter Ernährungszustand. Sehr geringe abendliche Temperatursteigerungen (37·8 im Rectum). Sehr geringer Panniculus adiposus. Lungen- und Larynxphthisis. Kein Potator. Körpergewicht $101^{2}/_{5}$ Pfund. Subjectives Wohlbefinden. 12 Uhr Mittag. 2 Uhr Kaffee mit Brod. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 6·20 Uhr.
l. Therm. 29·7.
6·20 Uhr: Differenz von 24 ^{cm}
6·25 „ „ „ 25 „ 1
6·30 „ „ „ $25^{1}/_{2}$ „ $^{1}/_{2}$
6·35 „ „ „ 26 „ $^{1}/_{2}$
6·40 „ „ „ 27 „ 1
6·45 Uhr: Differenz von 28 ^{cm} 1
6·50 „ „ „ $28^{1}/_{2}$ „ $^{1}/_{2}$
6·55 „ „ „ **29** „ $^{1}/_{2}$
7·0 „ „ „ 29 „ 0
7·5 „ „ „ 29 „ 0
l. Therm. 30·5.

7·5 Uhr; 50 ^{grm} Schnaps innerhalb 5 Minuten getrunken. Maximum von 29.

l. Therm. 30·6. 7·5 Uhr: Differenz von **$29^{3}/_{4}$** ^{cm} $^{3}/_{4}$
7·10 „ „ „ $29^{3}/_{4}$ „ 0
l. Therm. 30·6. 7·15 „ „ „ $29^{3}/_{4}$ „ 0

XVIII. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Zubehör. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 9·0 Uhr.
l. Therm. 19·9.
9·0 Uhr: Gleichstand des Manomet.
9·5 „ Differenz von 7 ^{cm}
9·10 „ „ „ 12 „ 5
9·15 „ „ „ $17^{1}/_{2}$ „ $5^{1}/_{2}$
9·20 „ „ „ 22 „ $4^{1}/_{2}$
9·25 „ „ „ $24^{1}/_{2}$ „ $2^{1}/_{2}$
9·30 Uhr: Differenz von 27 ^{cm} $2^{1}/_{2}$
9·35 „ „ „ 29 „ 2
9·40 „ „ „ 30 „ 1
9·45 „ „ „ $30^{3}/_{4}$ „ $^{3}/_{4}$
9·50 „ „ „ **$31^{1}/_{4}$** „ $^{1}/_{2}$
10·0 „ „ „ $31^{1}/_{4}$ „ 0
10·5 „ „ „ $31^{1}/_{4}$ „ 0
l. Therm. 30·2.

Maximum von $31^{1}/_{4}$ erreicht nm 9·50 Uhr, also nach — Stunde 50 Minuten.

10 Uhr: 25 grm Getreidekümmel auf einmal getrunken. Gefühl von Wärme im ganzen Körper, auch im linken Arm. Hand schwitzt.

l. Therm. 30·3.	10·10 Uhr: Differenz von	$31\frac{1}{2}$ cm	$\frac{1}{4}$
	10·15 „ „ „	32 „	$\frac{1}{2}$
	10·20 „ „ „	32 „	0
l. Therm. 30·5.	10·25 „ „ „	32 „	0

XIX. Versuch, an Luise Müller. 20 Jahr. Ziemlich kräftiger Körperbau, guter Ernährungszustand. Normaltemperatur. Stark entwickelter Panniculus adiposus. Immer gesund gewesen. Seit 9 Wochen Gonorrhoe. 1 Tag nach der Menstruation. Körperlänge 144 cm, Körpergewicht 121 Pfund. Länge des Armes 49 cm, Umfang des Oberarmes 26 cm. Wohlbefinden. 12 Uhr Mittag. $\frac{1}{2}$3 Uhr Kaffee mit Brod. Rechter Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 2·55 Uhr.
l. Therm. 21·0. r. Therm. 21·4.
2·55 Uhr: Gleichstand des Manomet.

3·5 „	Differenz von	$11\frac{3}{4}$ cm	
3·15 „	„ „	$17\frac{3}{4}$ „	6
3·25 „	„ „	18 „	$\frac{1}{4}$
3·30 „	„ „	$18\frac{3}{4}$ „	$\frac{3}{4}$
3·35 Uhr:	Differenz von	$19\frac{1}{4}$ cm	$\frac{1}{2}$
3·40 „	„ „	$19\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
3·45 „	„ „	$20\frac{1}{2}$ „	$\frac{3}{4}$
3·50 „	„ „	$20\frac{1}{2}$ „	0
3·55 „	„ „	$20\frac{1}{2}$ „	0

l. Therm. 26·2. r. Therm. 20·7.

Maximum von $20\frac{1}{2}$ erreicht um 3·45 Uhr, also nach — Stunde 55 Minuten.

3·55 Uhr: 10 grm Getreidekümmel auf ein Mal getrunken.

l. Therm. 26·2. r. Therm. 20·7.

4·0 Uhr:	Differenz von	$20\frac{3}{4}$ cm	$\frac{1}{4}$
4·5 „	„ „	$21\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
4·10 „	„ „	$21\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
4·15 „	„ „	$22\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
4·20 Uhr:	Differenz von	$23\frac{1}{4}$ cm	1
4·25 „	„ „	$23\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
4·30 „	„ „	$23\frac{1}{2}$ „	0
4·35 „	„ „	$23\frac{1}{2}$ „	0

l. Therm. 27·4. r. Therm. 20·7.

XX. Versuch, an Wilhelm Morris, cand. med. 25 Jahr. Kräftiger Körperbau, gute Ernährung. Normaltemperatur. Guter Panniculus adiposus. Immer gesund gewesen. Trinkt fast niemals Schnaps. Körperlänge 163 cm, Körpergewicht 133 Pfund. Länge des Armes 56 cm, Umfang des Oberarmes $26\frac{1}{2}$ cm. Wohlbefinden. $\frac{1}{2}$1 Uhr Mittag. $\frac{1}{2}$5 Uhr $\frac{1}{2}$ Liter Bier. Rechter Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·55 Uhr.			5·25 Uhr: Differenz von	39 cm	1/2
l. Therm. 24·0.			5·30 „ „ „	39 3/4 „	3/4
4·55 Uhr: Differenz von	27 cm		5·35 „ „ „	**40 1/4** „	1/2
5·5 „ „ „	33 1/2 „	6 1/2	5·40 „ „ „	40 1/4 „	0
5·10 „ „ „	35 3/4 „	2 1/4	5·45 „ „ „	40 1/4 „	0
5·15 „ „ „	37 1/4 „	1 1/2	l. Therm. 28·0.		
5·20 „ „ „	38 1/2 „	1 1/4			

5·45 Uhr: 50 grm Getreidekümmel getrunken. Brennen und intensives Wärmegefühl im Magen.

l. Therm. 28·0.			6·5 Uhr: Differenz von	**42 1/2** cm	1
5·50 Uhr: Differenz von	40 3/4 cm	1/2	6·10 „ „ „	42 1/2 „	0
5·55 „ „ „	41 „	1/4	6·15 „ „ „	42 1/2 „	0
6·0 „ „ „	41 1/2 „	1/2			

5·55 Uhr: M. giebt an, dass sein rechter Arm bedeutend wärmer würde. Hand schwitzt mässig.

Sichten wir jetzt diese Versuchsreihe, so muss wohl der erste Versuch derselben (XV) als nicht beweisend ausgeschlossen werden. In keinem der anderen sind auch nur annähernd so hohe Werthe für die erhöhte Wärmeabgabe (von 36 3/4—47 1/2) als in diesem gefunden worden, und es ist wohl anzunehmen, dass trotz der grössten Sorgfalt, mit der dieser Versuch angestellt wurde, derselbe dennoch durch irgend eine unbekannt gebliebene Störung unbrauchbar geworden ist, obgleich andererseits wieder das Ansteigen der Temperatur in dem betreffenden Cylinder (von 29·8° auf 31·0°) für die Richtigkeit des Versuches spricht. Hiervon abgesehen hat sich auch sonst stets ein Einfluss des Alkohols auf die Wärmeabgabe deutlich erwiesen. Am stärksten war dieser Einfluss bei dem weiblichen Individuum (Versuch XIX, von 20 1/2 auf 23 1/4), was nicht zu verwundern ist, wenn man sich vergegenwärtigt, dass die grosse Mehrzahl der weiblichen Personen dem Alkoholgenuss nicht huldigt und deswegen auf dessen Wirkungen prompt reagirt. Aus denselben Gründen waren, wenn man auch von dem ersten Versuche absieht, die Erfolge bei Hrn. Morris und mir grösser, als bei den übrigen männlichen Versuchspersonen, welche wohl etwas mehr an Schnaps gewöhnt sein mögen. Es kommt hinzu, dass ich selbst nur die Hälfte des von den übrigen männlichen Versuchspersonen getrunkenen Schnapses consumirte. Andererseits mag auch der Umstand, dass im Versuch XX eine ziemlich hohe Wärmeabgabe (von 40 1/4 auf 42 1/2) erreicht wurde, wenigstens zum Theil darauf zu beziehen sein, dass dieser Versuch zur Zeit des Eintritts der physiologischen täglichen Temperatursteigerung angestellt wurde. Im übrigen war eine zwar geringe, aber doch recht deut-

liche Steigerung der Wärmeabgabe ($^1/_2$, $^3/_4$) die Regel. Ob hier nur, wie es angenommen wird, eine erhöhte Abgabe der Wärme in Betracht kommt, oder ob auch die Production derselben mit der Abgabe gleichen Schritt hält, lässt sich natürlich mit irgend welcher Sicherheit nicht feststellen.

Wenn nun, wie wir soeben gesehen haben, der Alkohol auf die Wärmeverhältnisse des menschlichen Organismus einen nicht zu unterschätzenden Einfluss ausübt, so liegt die Frage nahe, ob auch irgend ein heisses Getränk, welches keinen Alkohol enthält, also etwa reines heisses Wasser, eine ähnliche Wirkung entfalte. Bis jetzt hat man eine solche, wenn überhaupt bestehend, doch als ganz unbedeutend hingestellt. Folgende Versuche habe ich in dieser Richtung angestellt und zwar in der Art, dass nach Feststellung des höchsten Standes des Manometers eine bestimmte Quantität heissen Wassers (event. mit etwas Himbeersaft) in bestimmter Zeit getrunken wurde, während der Arm im Apparate verblieb, und dann auf eine etwaige Veränderung in der Stellung des Manometers geachtet wurde.

XXI. Versuch, an Peter Brandl. 14 Jahr, mässig kräftiger Körperbau; guter Ernährungszustand. Normaltemperatur. Mässig gut entwickelter Panniculus adiposus. Früher immer gesund gewesen. Jetzt Reconvalescent von einer Nephritis nach Diphtherie. 9 Tage ausser Bett. Körperlänge 137 cm. Länge des Armes 49 cm. Umfang des Oberarmes $20^1/_4$ cm. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Brod; 9 Uhr Milch mit Brod. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 10·20 Uhr.
l. Therm. 28·6 r. Therm. 20·8.

Zeit		Differenz	
10·20 Uhr:	Differenz v.	26 cm	
10·25 „	„	„ $25^3/_4$ „	− $^1/_4$
10·30 „	„	„ 27 „	+ $1^1/_4$
10·35 „	„	„ $27^1/_2$ „	$^1/_2$
10·40 Uhr:	Differenz von	$28^1/_2$ cm	1
10·45 „	„	„ $29^1/_2$ „	1
10·50 „	„	„ $29^1/_2$ „	0
10·55 „	„	„ $29^1/_2$ „	0

l. Term. 29·2. r. Therm. 20·5.

Maximum von $29^1/_2$.
Hand schwitzt; Brandl giebt an, überhaupt leicht zu schwitzen.

10·55 Uhr $^1/_2$ Liter Wasser wurde so heiss, als es vertragen wurde, möglichst schnell getrunken.

l. Therm. 29·1 r. Therm. 20·5.

Zeit		Differenz	
11·0 Uhr:	Differenz von	30 cm	
11·5 „	„	„ 31 „	1
11·10 „	„	„ $31^1/_4$ „	$^1/_4$
11·15 Uhr:	Differenz von	$31^1/_2$ cm	$^1/_4$
11·20 „	„	„ $31^1/_2$ „	0
11·25 „	„	„ $31^1/_2$ „	0

l. Therm. 29·7. r. Therm 21·0

Brandl giebt an, ganz deutlich nach dem Trinken des warmen Wassers ein allgemeines Wärmegefühl verspürt zu haben.

XXII. Versuch, an Paulus Gierer. Wohlbefinden. $^1/_2$7 Uhr Kaffee mit Zubehör. $^1/_4$10 Uhr Milch mit Brod. Von $^1/_2$8 bis $^1/_4$10 Uhr schwer gearbeitet. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn 10·0 Uhr.
l. Therm. 17·6.

10·0 Uhr:	Gleichstand d. Manometers	
10·15 „	Differenz von $14^1/_4$ cm	
10·30 „	„ „ 20	„ $5^3/_4$
10·45 „	„ „ 24	„ 4
10·55 Uhr:	Differenz von $25^1/_4$ cm	$1^1/_4$
11·0 „	„ „ $25^3/_4$	„ $^1/_2$
11·5 „	„ „ $25^3/_4$	„ 0
11·10 „	„ „ $25^3/_4$	„ 0

l. Therm. 25·1.

Maximum von $25^3/_4$ erreicht um 11·0 Uhr; also nach 1 Stunde.

Gierer friert ein wenig, weil er kurz vor Beginn des Versuches hart gearbeitet und dabei geschwitzt hat.

11·10 Uhr: es wurde $^1/_2$ Liter heisses Wasser mit ein wenig Himbeersaft in möglichst kurzer Zeit getrunken. Gefühl von Wärme im Magen; dasselbe verbreitet sich bald über den ganzen Körper.

l. Therm. 25·5.	11·15 Uhr:	Differenz von $26^3/_4$ cm	1
	11·25 „	„ „ $27^3/_4$	„ 1
	11·30 „	„ „ 28	„ $^1/_4$
	11·35 „	„ „ 28	„ 0
l. Therm. 26·2.	11·40 „	„ „ 28	„ 0

Die Thatsache, die sich aus vorstehenden Versuchen ergiebt, dass nämlich nach dem Genuss von heissem Wasser die Wärmeabgabe ganz erheblich gesteigert wird (von $25^3/_4$ auf 28; von $29^1/_2$ auf $31^1/_2$), ist unbestreitbar. Fraglich ist nur, ob diese erhöhte Wärmeabgabe die Folge einer durch das heisse Wasser bewirkten Erhöhung der Eigenwärme ist, oder ob sie nur dadurch entsteht, dass durch die Einfuhr heissen Getränkes die Blutcirculation erheblich beschleunigt wird. Das letztere ist wohl wahrscheinlicher, wenn man bedenkt, dass die absolute Menge der dem Körper durch eine Quantität (etwa $^1/_2$ Liter) heissen Getränkes zugeführten Wärme äusserst unerheblich ist.

Die folgende Versuchsreihe beschäftigt sich mit der Einwirkung innerlich genommenen Eiswassers auf die Wärme-Oekonomie des menschlichen Körpers.

XXIII. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·35 Uhr.
l. Therm. 18·8. r. Therm. 18·8.
4·35 Uhr: Gleichstand d. Manomet.
4·40 „ Differenz von $8^1/_2$ cm $8^1/_2$
4·45 „ „ „ 15 „ $6^1/_2$
4·50 „ „ „ $20^1/_2$ „ $5^1/_2$
4·55 „ „ „ 25 „ $4^1/_2$
5·0 „ „ „ 28 „ 3
5·5 Uhr: Differenz von 30 cm 2
5·10 „ „ „ $31^1/_4$ „ $1^1/_4$
5·15 „ „ „ $32^1/_4$ „ 1
5·20 „ „ „ 33 „ $^3/_4$
5·25 „ „ „ 33 „ 0
5·30 „ „ „ 33 „ 0
l. Therm. 30·5. r. Therm. 19·7.

Maximum von 33 erreicht um 5·20 Uhr; also nach — Stunde 45 Min.

5·30 Uhr: es wurde $^1/_2$ Liter Eiswasser binnen 3 Minuten getrunken.

5·35 Uhr: Differenz von 33 cm 0
5·40 „ „ „ 33 „ 0
5·45 „ „ „ 33 „ 0

XXIV. Versuch, an Beschel. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Brod. 9 Uhr $^1/_4$ Liter Milch und $^1/_2$ Brödchen. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10·10 Uhr.
l. Therm. 21·2. r. Therm. 21·1.
10·10 Uhr: Gleichstand d. Manomet.
10·15 „ Differenz von $7^1/_2$ cm
10·20 „ „ „ 11 „ $3^1/_2$
10·25 „ „ „ $13^1/_4$ „ $2^1/_4$
10·30 „ „ „ $15^1/_4$ „ 2
10·35 „ „ „ 16 „ $^3/_4$
10·40 „ „ „ 17 „ 1
10·45 „ „ „ 18 „ 1
10·50 Uhr: Differenz von $18^1/_2$ cm $^1/_2$
10·55 „ „ „ $19^1/_4$ „ $^3/_4$
11·0 „ „ „ $19^3/_4$ „ $^1/_2$
11·5 „ „ „ 20 „ $^1/_4$
11·10 „ „ „ $20^3/_4$ „ $^3/_4$
11·15 „ „ „ 21 „ $^1/_4$
11·20 „ „ „ 21 „ 0
11·25 „ „ „ 21 „ 0
l. Therm. 27·1. r. Therm. 21·1.

Maximum von 21 erreicht, um 11·15 Uhr; also nach 1 Stunde 5 Min
11·20 Uhr: $^1/_2$ Liter Eiswasser in möglichst kurzer Zeit getrunken.

l. Therm. 27·1. 11·25 Uhr: Differenz von 21 cm 0
11·30 „ „ „ 21 „ 0
11·35 „ „ „ 21 „ 0

XXV. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $^1/_2$7 Uhr Kaffee mit Zubehör. 10 Uhr Frühstück, $^1/_2$ Liter Bier. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 11·30 Uhr.
l. Therm. 24·8.
11·30 Uhr: Differenz von 22 cm
11·40 „ „ „ $25^3/_4$ „ $3^3/_4$
11·50 „ „ „ $27^3/_4$ „ 2
12·0 Uhr: Differenz von $28^3/_4$ cm 1
12·5 „ „ „ $29^1/_4$ „ $^1/_2$
12·10 „ „ „ $29^1/_4$ „ 0
12·15 „ „ „ $29^1/_4$ „ 0
l. Therm. 27·7. Maximum von $29^1/_4$.

12·15 Uhr wird $^1/_4$ Liter Eiswasser getrunken, nachdem der Arm aus dem Apparat entfernt worden; darauf wird der Arm wieder in den unterdessen nicht geöffneten Apparat gebracht, dessen Manometer unterdessen auf 25 gefallen ist.

l. Therm. 26·6.	12·20 Uhr: Differenz von 27 cm		
	12·25 „ „ „	$27^1/_2$ „	$^1/_2$
	12·30 „ „ „	$27^3/_4$ „	$^1/_2$
	12·35 „ „ „	$27^3/_4$ „	0
l. Therm. 26·9.	12·40 „ „ „	$27^3/_4$ „	0

12·15 Uhr mehrmaliges Schauern (Kältegefühl).

XXVI. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $^1/_2$8 Uhr Kaffee mit Zubehör. $^1/_2$10 Uhr Frühstück mit $^1/_2$ Liter Bier. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10·15 Uhr.
l. Therm. 20·0.

10·15 Uhr: Gleichstand d. Manomet.		
10·30 „ Differ. von	22 cm	
10·45 „ „ „	$28^1/_2$ „	$6^1/_2$
10·50 „ „ „	32 „	$3^1/_2$
10·55 Uhr: Differ. von	34 cm	2
11·0 „ „ „	$34^3/_4$ „	$^3/_4$
11·5 „ „ „	35 „	$^1/_4$
11·10 „ „ „	35 „	0
11·15 „ „ „	35 „	0

l. Therm. 28·7.

Maximum von 35 erreicht um 11·5 Uhr; also nach — Stunde 50 Min.

11·15 Uhr: es wird ca. $^1/_2$ Liter Eiswasser binnen 5 Minuten getrunken; ebenfalls nach Entfernung des Armes aus dem Apparat.

l. Therm. 27·2.

11·20 Uhr: Differ. von	28 cm	
11·25 „ „ „	$28^1/_2$ „	$^1/_2$
11·30 „ „ „	$29^1/_2$ „	1
11·35 „ „ „	$31^3/_4$ „	$2^1/_4$
11·40 Uhr: Differ. von	$32^3/_4$ cm	1
11·45 „ „ „	$33^1/_4$ „	$^1/_2$
11·50 „ „ „	$33^1/_4$ „	0
11·55 „ „ „	$33^1/_4$ „	0

Die beiden ersten Versuche dieser Reihe ergaben ein völlig negatives Resultat. Da aber von vorne herein es nicht verständlich wäre, weshalb die Einfuhr kalter Flüssigkeit in den Körper keine Temperaturerniedrigung herbeiführen sollte, während doch andererseits die Einwirkung heissen Getränkes im entgegengesetzten Sinne so sehr in die Augen fallend war, und schliesslich auch Versuche von Lichtenfels, Fröhlich, Winternitz u. A. durchaus mit den hier angestellten Versuchen im Widerspruch standen, so musste ich annehmen, dass bei der Anstellung dieser meiner Versuche ein Fehler untergelaufen sei. Und dem war auch wirklich so. Wenn nämlich, wie dies bei den ersten Versuchen geschah, nach eingetretenem höchsten Manometerstand der Arm, nachdem das Eiswasser getrunken war,

im Apparate verblieb, so konnte die in demselben einmal aufgespeicherte Wärme nicht in so kurzer Zeit, während welcher die betreffenden Versuche angestellt wurden, nach aussen abgegeben werden, und also konnte sich auch eine etwa eingetretene verminderte Wärmeabgabe des Armes nicht zeigen. Ganz anders verhielt sich die Sache, als der Versuch dahin abgeändert wurde, dass nach erreichtem und aufgezeichnetem Höchststand des Manometers der Arm aus dem Apparate genommen und nun das Eiswasser getrunken wurde. Unterdessen fiel das Manometer um ein Gewisses, und es zeigte sich dann nach dem Wiedereinbringen des Armes in den Apparat, dass der vorige Stand des Manometers bei Weitem nicht erreicht wurde (von $29^{1}/_{4}$ auf $27^{3}/_{4}$; von 35 auf $33^{1}/_{4}$), d. h. dass die Wärmeabgabe und die Wärmeproduction des betreffenden Armes um ein Erhebliches in Folge des eingenommenen Eiswassers gesunken war.

Im Anschluss hieran mögen einige Versuche folgen, in denen die Einwirkung von Eiswasser, äusserlich auf die Haut des betreffenden Armes applicirt, studirt wurde.

XXVII. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $^{3}/_{4}$1 Uhr Mittag. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·35 Uhr.
l. Therm. 19·6.
4·35 Uhr: Gleichstand d. Manomet.

4·40 „	Differ. von	$11^{1}/_{2}$ cm	
4·45 „	„ „	$18^{3}/_{4}$ „	$7^{1}/_{4}$
4.50 „	„ „	$22^{1}/_{4}$ „	$3^{1}/_{2}$
4·55 „	„ „	26 „	$3^{3}/_{4}$
5·0 „	„ „	$28^{1}/_{2}$ „	$2^{1}/_{2}$
5·5 „	„ „	$30^{1}/_{4}$ „	$1^{3}/_{4}$
5·10 Uhr:	Differ. von	$32^{1}/_{2}$ cm	$2^{1}/_{4}$
5·15 „	„ „	$34^{1}/_{2}$ „	2
5·20 „	„ „	36 „	$1^{1}/_{2}$
5·25 „	„ „	37 „	1
5·30 „	„ „	$37^{1}/_{2}$ „	$^{1}/_{2}$
5·35 „	„ „	$38^{1}/_{2}$ „	1
5·40 „	„ „	$38^{1}/_{2}$ „	0
5·45 „	„ „	$38^{1}/_{2}$ „	0

l. Therm. 31.6.

Maximum von $38^{1}/_{2}$ erreicht um 5·35 Uhr; also nach 1 Stunde — Min.

5·45 Uhr: der linke Arm wurde während 2 Minuten in Eiswasser gehalten, dann leicht, ohne wesentliche Reibung, abgetrocknet, um dann wieder in den inzwischen nicht geöffneten Apparat gebracht zu werden, dessen Manometer bis auf 32 gesunken war.

l. Therm. 28·3.

5·48 Uhr:	Differ. von	32 cm	
5·55 „	„ „	$29^{1}/_{2}$ „	$-2^{1}/_{2}$
6·0 „	„ „	32 „	$+2^{1}/_{2}$
6·5 „	„ „	36 „	4
6·15 „	„ „	37 „	1
6·20 Uhr:	Differ. von	38 cm	1
6·25 „	„ „	$38^{1}/_{2}$ „	$^{1}/_{2}$
6·30 „	„ „	$38^{1}/_{2}$ „	0
6·35 „	„ „	$38^{1}/_{2}$ „	0

l. Therm. 31·5.

5·45 Uhr: kurzandauerndes Kältegefühl.

XXVIII. Versuch; an Johann Dietzinger. Wohlbefinden. 12 Uhr Mittag. 2 Uhr Kaffee mit Brod. Rechter Arm im linken Cylinder.

Beginn: 2·25 Uhr.
l. Therm. 20·0.

Zeit		Differenz	
2·25 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
2·40 „	Differ. von	$23^1/_4$ cm	
2·50 „	„ „	$28^1/_4$ „	5
3·0 „	„ „	$31^1/_2$ „	$3^1/_4$
3·10 „	„ „	$33^3/_4$ „	$2^1/_4$
3·20 Uhr:	Differ. von	$35^3/_4$ cm	2
3·30 „	„ „	$36^1/_2$ „	$^3/_4$
3·35 „	„ „	$37^1/_4$ „	$^3/_4$
3·40 „	„ „	$37^1/_2$ „	$^1/_4$
3·45 „	„ „	$37^1/_2$ „	0
3·50 „	„ „	$37^1/_2$ „	0

l. Therm. 25·6.

Maximum von $37^1/_2$ erreicht um 3·40 Uhr, also nach 1 Stunde 15 Min.

3·50 Uhr wird der linke Arm mit Eis und Eiswasser wie oben in Versuch XXVII. behandelt.

l. Therm. 25·3.

Zeit		Differenz	
3·55 Uhr:	Differ. von	$32^1/_4$ cm	
4·0 „	„ „	$30^1/_4$ „	−2
4·5 „	„ „	$32^1/_2$ „	$+2^1/_4$
4·10 „	„ „	$34^1/_4$ „	$1^3/_4$
4·15 Uhr:	Differ. von	$36^3/_4$ cm	$2^1/_2$
4·20 „	„ „	$37^1/_2$ „	$^3/_4$
4·25 „	„ „	$37^1/_2$ „	0
4·30 „	„ „	$37^1/_2$ „	0

Dietzinger fühlte nur einige Minuten ein mässiges Kältegefühl im Arme.

Wie beide Versuche (XXVII und XXVIII) übereinstimmend zeigen, hat die äussere Application von Eiswasser auf die Haut, wenigstens in dem geringen Umfang, wie es in den Versuchen angewendet wurde, gar keinen sichtbaren Einfluss auf die Wärme-Oekonomie des Körpers. Man darf aber darauf gestützt durchaus nicht annehmen, dass kaltes Wasser dem Körper keine Wärme entziehe, denn der temperaturherabsetzende Einfluss der kalten Bäder, ein Capitel, welches uns in dieser kleinen Arbeit auch noch beschäftigen wird, ist ein zu auffallender, als dass man ihn negiren könnte. Die Sache verhält sich vielmehr so, dass bei der geringen Oberfläche, die hier mit dem kalten Wasser in Berührung kommt und zwar auch nur auf kurze Zeit, die Abkühlung des ganzen im Körper kreisenden Blutes eine zu geringe ist, als dass sie mit dem benutzten Apparate messbar wäre. Dazu kommt noch, dass die nachträgliche Ausgleichung des verringerten Wärmeverlustes durch die bald eintretende Erweiterung der Hautgefässe sicherlich eine sehr prompte und wirksame ist. Dass aber eine, wenn auch nur ganz minimale, Abkühlung stattfindet, das ist sicherlich unbestreitbar.

Im Anschluss hieran will ich noch einige Versuche anführen, bei denen die Haut des Armes mit Senfspiritus behandelt wurde. Dass gerade Senfspiritus gewählt wurde, lag nur an der leichten Beschaffbarkeit desselben; es handelt sich hier nur um eine Substanz, die auf die Haut gebracht, im

Verein mit starkem Reiben der letzteren, Röthung des Armes, d. h. ein Weiterwerden der Hautgefässe derselben bewirkt.

XXIX. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $\frac{1}{2}$1 Uhr Mittag. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·25 Uhr.

l. Therm. 19·2.

4·25 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
4·35 „	Differ. von	19 cm	
4·45 „	„ „	$26\frac{1}{4}$ „	$7\frac{1}{4}$
4·55 „	„ „	$29\frac{3}{4}$ „	$3\frac{1}{2}$
5·5 Uhr:	Differ. von	$31\frac{3}{4}$ cm	2
5·15 „	„ „	33 „	$1\frac{1}{4}$
5·25 „	„ „	$33\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
5·30 „	„ „	$33\frac{1}{4}$ „	0
5·35 „	„ „	$33\frac{1}{4}$ „	0

l. Therm. 29·6.

Maximum von $33\frac{1}{4}$ erreicht um 5·25 Uhr, also nach 1 Stunde — Min.

5·35 Uhr: es wird der ganze linke Arm (ohne die Hand) mit Senfspiritus mittels eines Wolllappens bis zum deutlichen Rothwerden frottirt.

l. Therm. 28·4.

5·40 Uhr:	Differ. von	27 cm	27
5·45 „	„ „	$30\frac{1}{4}$ „	$3\frac{1}{4}$
5·50 „	„ „	32 „	$1\frac{3}{4}$
5·55 „	„ „	$32\frac{3}{4}$ „	$\frac{3}{4}$
6·0 „	„ „	33 „	$\frac{1}{4}$
6·5 Uhr:	Differ. von	$33\frac{1}{2}$ cm	$\frac{1}{2}$
6·10 „	„ „	$33\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
6·15 „	„ „	$33\frac{3}{4}$ „	0
6·20 „	„ „	$33\frac{3}{4}$ „	0

l. Therm. 29·8.

5·35 Uhr: der Arm brennt heftig; Hand schwitzt stark.

5·55 Uhr: der Arm brennt weniger stark.

6·0 Uhr: der Arm brennt gar nicht mehr.

XXX. Versuch; an Heinrich Reichert, 24 Jahr. Hufschmied. Mässig kräftiger Mann; mässig guter Ernährungszustand. Normaltemperatur. Geringer Panniculus adiposus. Früher immer gesund. Jetzt Gonorrhoe, noch nicht ganz geheilt. Patient durch Aufenthalt im Krankenhause sehr herabgekommen. Körperlänge 172 cm. Körpergewicht 140 Pfund (früher 160 Pfund). Soldat gewesen; kein Potator. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Brod. $\frac{1}{2}$10 Uhr Milch mit Brod. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 9·45 Uhr.

l. Therm. 20·6.

9·45 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
10·0 „	Differ. von	12 cm	12
10·15 „	„ „	$20\frac{3}{4}$ „	$8\frac{3}{4}$
10·25 „	„ „	$26\frac{1}{4}$ „	$5\frac{1}{2}$
10·30 „	„ „	$28\frac{1}{4}$ „	2
10·40 Uhr:	Differ. von	$29\frac{1}{4}$ cm	1
10·50 „	„ „	$29\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
11·0 „	„ „	$29\frac{3}{4}$ „	0
11·5 „	„ „	$29\frac{3}{4}$ „	0
11·10 „	„ „	$29\frac{3}{4}$ „	0

l. Therm. 29·0.

Maximum von $29\frac{3}{4}$ erreicht um 11 Uhr, also nach 1 Stunde 15 Min.

11·10 Uhr: Einreiben des linken Armes wie im vorigen Versuch (XXIX).

l. Therm. 28·4.	11·45 Uhr: Differ. von $29^1/_2$ cm $^1/_2$
11·15 Uhr: Differ. von $25^1/_4$ cm	11·50 „ „ „ $29^3/_4$ „ $^1/_4$
11·20 „ „ „ $25^3/_4$ „ $^1/_2$	12·0 „ „ „ 30 „ $^1/_4$
11·30 „ „ „ $26^3/_4$ „ 1	12·5 „ „ „ 30 „ 0
11·35 „ „ „ $28^3/_4$ „ 2	12·10 „ „ „ 30 „ 0
11·40 „ „ „ 29 „ $^1/_4$	l. Therm. 28·4.

Bis 11·35 Uhr starkes Brennen und Wärmegefühl im Arme.
11·40 Uhr: Brennen nur noch schwach.
11·45 Uhr: Nichts Abnormes mehr.

Man hätte erwarten sollen, dass der Effect der Einreibung mit Senfspiritus und ähnlichen Mitteln, die doch sichtlich die Hautgefässe sehr stark erweitern, grösser wäre, als der errungene ($^1/_4$, $^1/_2$). Doch kommen hier sicherlich wieder jene oben angeführten wärmeregulirenden Mittel in Betracht und dazu kommt wahrscheinlich auch eine auf die Erweiterung der Hautgefässe baldigst folgende Contraction derselben, womit auch die Thatsache im Einklang steht, dass das subjective Wärmegefühl, das Brennen, nur geringe Zeit anhält, um bald annähernd normalen Verhältnissen wieder Platz zu machen.

Ausgehend von einer von Senator aufgestellten Behauptung, dass bei fieberhaften Processen das Ueberstreichen eines grossen Theiles der Körperoberfläche mit fettigen, wenig perspirablen Substanzen fieberwidrig wirke, und in Hinsicht darauf, dass diese Therapie auch als Hausmittel vielen Müttern bekannt und bei ihnen sehr beliebt ist, habe ich einige Versuche angestellt, in denen ich den Einfluss dieser Anwendung eines Fettes auf die Wärme-Oekonomie klar zu stellen suchte. Leider konnten meine derartigen Versuche nur an gesunden, fieberlosen Personen angestellt werden.

XXXI. Versuch, an Paulus Gierer. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Brod. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 8·40 Uhr.	9·45 Uhr: Differenz von 21 cm 1
l. Therm. 18·3.	9·50 „ „ „ $21^1/_4$ „ $^1/_4$
8·40 Uhr: Gleichtand des Manomet.	9·55 „ „ „ $21^1/_2$ „ $^1/_4$
9·10 „ Differenz von 16 cm	10·0 „ „ „ $21^1/_2$ „ 0
9·20 „ „ „ $18^1/_2$ „ $2^1/_2$	10·5 „ „ „ $21^1/_2$ „ 0
9·30 „ „ „ $19^1/_2$ „ 1	l. Therm. 24·3.
9·35 „ „ „ 20 „ $^1/_2$	

Maximum von $21^1/_2$ erreicht um 9·55 Uhr, also nach 1 Stunde 15 Minuten.

10·5 Uhr: Einreiben von Arm und Hand mit Vaselin.

l. Therm. 24·2.

Zeit		Differenz	
10·7 Uhr:	Differenz von	$19^{1}/_{2}$ cm	
10·10 „	„ „	20 „	$^{1}/_{2}$
10·15 „	„ „	20 „	0
10·20 Uhr:	Differenz von	$20^{1}/_{4}$ cm	$^{1}/_{4}$
10·25 „	„ „	$20^{1}/_{4}$ „	0
10·30 „	„ „	$20^{1}/_{4}$ „	0

XXXII. Versuch, an Paulus Gierer. Wohlbefinden. $7^{1}/_{2}$ Uhr Kaffee mit Brod. $^{1}/_{2}$10 Milch mit Brod. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 10·20 Uhr.

l. Therm. 28·8.

Zeit		Differenz	
10·20 Uhr:	Differ. von	20 cm	
10·35 „	„ „	$18^{3}/_{4}$ „	$- 1^{1}/_{4}$
10·45 „	„ „	$20^{3}/_{4}$ „	+ 2
10·55 „	„ „	$21^{3}/_{4}$ „	1
11·5 Uhr:	Differ. von	$22^{1}/_{2}$ cm	$^{3}/_{4}$
11·10 „	„ „	$22^{3}/_{4}$ „	$^{1}/_{4}$
11·15 „	„ „	$22^{3}/_{4}$ „	0
11·20 „	„ „	$22^{3}/_{4}$ „	0

l. Therm. 27·3.

Maximum von $22^{3}/_{4}$.

1·20 Uhr: Arm und Hand mit Vaselin eingerieben.

l. Term. 26·4.

Zeit		Differenz	
11·20 Uhr:	Differ. von	$22^{3}/_{4}$ cm	
11·25 „	„ „	$20^{1}/_{4}$ „	$- 2^{1}/_{2}$
11·30 „	„ „	$20^{3}/_{4}$ „	$+ 0^{1}/_{2}$
11·35 „	„ „	$20^{3}/_{4}$ „	0
11·40 Uhr:	Differ. von	21 cm	$^{1}/_{4}$
11·45 „	„ „	21 „	0
11·50 „	„ „	21 „	0

l. Th. 26·5.

Wir können also hier constatiren, dass wenigstens beim gesunden, nicht fiebernden Menschen, in Folge des Einreibens eines Armes mit einem wenig perspirablen Stoffe, wie Vaselin, eine Verminderung der Wärmeabgabe stattfindet. Ob neben dieser Verminderung der Abgabe auch eine ebensolche der Production der Wärme einhergeht, lässt sich zwar mit irgend welcher Sicherheit nicht sagen, ist aber *a priori* schwer glaublich. Und doch wäre die Anwendung dieser Therapie bei Fiebernden nur dann gerechtfertigt, wenn dies der Fall wäre. Es fragt sich allerdings, ob die Wirkung bei Fiebernden sich nicht wesentlich anders gezeigt hätte, als bei gesunden, nicht fiebernden Individuen, und es ist diese Annahme naheliegend genug; denn, wie wir späterhin auseinandersetzen werden, ist auch die bei Fiebernden in der Mehrzahl der Fälle so prompt eintretende Wirkung der Antipyretica (Antipyrin, Antifebrin) bei Gesunden gleich Null.

Die jetzt folgenden Versuche befassen sich mit einer höchst interessanten Frage, nämlich der, ob angestrengte geistige Thätigkeit irgend einen Einfluss auf die Eigenwärme des Gesammtorganismus habe. Die Bejahung dieser Frage liegt nahe, da Schiff bewiesen hat, dass in den Nerven und auch im Gehirn während der Thätigkeit dieser Organe Wärme producirt

wird. Auch Untersuchungen, die J. Davy und Lombard hinsichtlich dieser Frage angestellt haben, ergaben ein positives Resultat.

In diesen Versuchen diente mir ein recht williger und intelligenter Knabe, dessen Angaben unbedingtes Vertrauen zu schenken ich berechtigt war.

XXXIII. Versuch, an Peter Brandl. Wohlbefinden. Mittag um 12 Uhr. Kaffee mit Brod um 2 Uhr. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·45 Uhr.
l. Therm. 17·7.
4·45 Uhr: Gleichstand des Manomet.
5·0 „ Differenz von $16\frac{1}{4}$ cm
5·15 „ „ „ $25\frac{3}{4}$ „ $9\frac{1}{2}$
5·30 „ „ „ $31\frac{1}{4}$ „ 6
5·45 „ „ „ 36 „ $4\frac{3}{4}$
6·0 Uhr: Differenz von $39\frac{3}{4}$ cm $3\frac{3}{4}$
6·15 „ „ „ $41\frac{1}{4}$ „ $1\frac{1}{2}$
6·20 „ „ „ **$41\frac{1}{2}$** „ $\frac{1}{4}$
6·25 „ „ „ $41\frac{1}{2}$ „ 0
6·30 „ „ „ $41\frac{1}{2}$ „ 0
6·35 „ „ „ $41\frac{1}{2}$ „ 0
l. Therm. 29·1.

Maximum von $41\frac{1}{2}$ erreicht um 6·20 Uhr, also nach 1 Stunde 35 Minuten.

6·35 Uhr: es wurden 10 Minuten lang complicirte Multiplications- und Divisionsexempel im Kopfe ausgerechnet.

l. Therm. 29·3. 6·40 Uhr: Differenz von **42** cm $\frac{1}{2}$
6·45 „ „ „ 42 „ 0
l. Therm. 29·5. 6·50 „ „ „ 42 „ 0

XXXIV. Versuch, an Peter Brandl. Wohlbefinden. 12 Uhr Mittag. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 1·25 Uhr.
l. Therm. 17·2.
1·25 Uhr: Gleichstand des Manomet.
1·35 „ Differenz von $12\frac{1}{4}$ cm $12\frac{1}{4}$
1·45 „ „ „ $17\frac{1}{2}$ „ $5\frac{1}{4}$
1·55 „ „ „ $20\frac{3}{4}$ „ $3\frac{1}{4}$
2·5 „ „ „ 22 „ $1\frac{3}{4}$
2·10 Uhr: Differenz von $22\frac{3}{4}$ cm $\frac{3}{4}$
2·15 „ „ „ **23** „ $\frac{1}{4}$
2·20 „ „ „ 23 „ 0
2·25 „ „ „ 23 „ 0
2·30 „ „ „ 23 „ 0
l. Therm. 25·3.

2·30 Uhr: 10 Minuten lang wie im Versuch (XXXIII) im Kopfe gerechnet.

l. Therm. 25·4. 2·35 Uhr: Differenz von $23\frac{1}{4}$ cm $\frac{1}{4}$
2·40 „ „ „ **$23\frac{1}{2}$** „ $\frac{1}{4}$
2·45 „ „ „ $23\frac{1}{2}$ „ 0
l. Therm. 25·5. 2·50 „ „ „ $23\frac{1}{2}$ „ 0

Die Hand wurde absolut still gehalten.

Es ist also unbedingt zuzugeben, dass angestrengte geistige Thätigkeit auf die Vermehrung der Abgabe und Production der Wärme einen deutlichen, wenn natürlich auch keinen grossen Einfluss ausübt. Es ist also auch vollkommen auszuschliessen, dass diese Steigerung etwa eine durch leichte Bewegungen der Hand hervorgerufene sei, denn da ich selbst während der ganzen Versuchszeit neben der Versuchsperson sass, hätte ich einmal jede Bewegung bemerken müssen, andererseits aber hatte ich es in diesem Falle mit einem Knaben zu thun, zu dessen Aussagen ich festes Vertrauen zu haben berechtigt war, und der selbst ein hohes Interesse an diesen an ihm gemachten Beobachtungen an den Tag legte. Dazu kommt noch eine Reihe von ähnlichen Versuchsergebnissen, die von Mosse veröffentlicht worden sind.

Unter denjenigen Stoffen, die eine Erniedrigung der Innentemperatur des Organismus durch Erweiterung der Hautgefässe, also durch vermehrte Abgabe der Wärme, herbeiführen, rangirt neben Nicotin, dessen derartige Wirkung von J. Rosenthal des öfteren festgestellt wurde, auch das früher in der Therapie häufiger als jetzt angewandte Amylnitrit. Dieses Praeparates Wirkungen auf die Aenderung der Wärme-Oekonomie habe ich an einigen Versuchen untersucht.

XXXV. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. $^1/_2 1$ Uhr Mittag. $^1/_2 3$ Uhr $^1/_2$ Liter Bier. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 2·55 Uhr.

l. Therm. 26·1.

Uhr	Differenz von (cm)	
2·55 Uhr	20	20
3·0	25	5
3·5	$28^3/_4$	$3^3/_4$
3·10	31	$1^3/_4$
3·20	$33^1/_4$	$2^1/_4$
3·25	$34^1/_4$	1
3·30 Uhr	$34^3/_4$	$^1/_2$
3·35	$35^1/_2$	$^3/_4$
3·40	$35^3/_4$	$^1/_4$
3·45	$36^1/_4$	$^1/_2$
3·50	$36^1/_4$	0
3·55	$36^1/_4$	0

l. Therm. 30·2.

Maximum von $36^1/_4$.

3·55 Uhr: es wurden einige auf ein Taschentuch gegossene Tropfen Amylnitrit ca. $^1/_2$ Minute lang eingeathmet. Subjectiv fühlte man sofortiges starkes Klopfen der stark pulsirenden Gefässe im Inneren des Schädels, dann das Ansteigen starker Hitze in den Kopf (ca. 2 Minuten lang). Schwindelgefühl ist intensiv. Später Uebelkeitsgefühl. Objectiv war eine starke Röthung des Gesichtes und der sichtbaren Theile des Halses bemerkbar, die später einer intensiven Blässe wich.

l. Therm. 30·2.					
3·55 Uhr:	Differenz	von	$36\frac{1}{4}$ cm		
3·58	„	„	„	$37\frac{1}{4}$ „	1
4·0	„	„	„	$37\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
4·5	„	„	„	$37\frac{1}{2}$ „	0
4·10	„	„	„	$37\frac{1}{2}$ „	0

XXXVI. Versuch; an Peter Brandl.

Nachdem im Versuch XXXIV der höchste Stand des Manometers nach der geistigen Anstrengung mit $23\frac{1}{2}$ erreicht war, wurde wie im vorigen Versuch (XXXV) $\frac{1}{2}$ Minute lang Amylnitrit eingeathmet.

Gleich zu Beginn der Einathmung wurde Brandl schwindlig, die Augen wurden ihm matt, als wenn er einschlafen wollte, dann stieg ihm starke Hitze in den Kopf, die aber nur circa 2 Minuten anhielt. Darauf empfand Brandl Uebelkeit, die sich aber nach einigen Schluck eingenommenen Wassers wieder verlor. Objectiv wurde kurz nach dem Einathmen vorübergehende starke Röthung des Gesichtes und der freiliegenden Theile des Halses bemerkt, die bald einer kurzdauernden krankhaften Blässe wich.

l. Therm. 25·5.

Zeit			Differenz	
2·50 Uhr:	Differ.	von	$23\frac{1}{4}$ cm	
2·52	„	„	$24\frac{3}{4}$ „	$1\frac{1}{4}$
2·55	„	„	25 „	$\frac{1}{4}$
3·0 Uhr:	Differ.	von	$25\frac{1}{4}$ cm	$\frac{1}{4}$
3·5	„	„	$25\frac{1}{4}$ „	0
3·10	„	„	$25\frac{1}{4}$ „	0

XXXVII. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $\frac{1}{2}$7 Uhr Kaffee mit Zubehör. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 9 Uhr.

l. Therm. 17·5.

Zeit			Differenz	
9·15 Uhr:	Differ.	von	$25\frac{3}{4}$ cm	
9·25	„	„	$31\frac{1}{2}$ „	$5\frac{3}{4}$
9·35	„	„	$34\frac{1}{4}$ „	$3\frac{3}{4}$
9·45	„	„	$36\frac{3}{4}$ „	$2\frac{1}{2}$
9·50	„	„	$37\frac{3}{4}$ „	1
9·55 Uhr:	Differ.	von	$38\frac{1}{4}$ cm	$\frac{1}{2}$
10·0	„	„	$38\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
10·5	„	„	$38\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
10·10	„	„	$38\frac{3}{4}$ „	0
10·15	„	„	$38\frac{3}{4}$ „	0

l. Therm. 30·0.

Maximum von $38\frac{3}{4}$.

10·15 Uhr: es wurde circa $\frac{1}{2}$ Minute lang Amylnitrit eingeathmet. Dieselben Erscheinungen wie bei Versuch XXXV.

l. Therm. 30·0.

Zeit			Differenz	
10·15 Uhr:	Differ.	von	$38\frac{3}{4}$ cm	
10·18	„	„	$39\frac{3}{4}$ „	1
10·20	„	„	$40\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
10·25 Uhr:	Differ.	von	$40\frac{1}{2}$ cm	$\frac{1}{4}$
10·30	„	„	$40\frac{1}{2}$ „	0
10·35	„	„	$40\frac{1}{2}$ „	0

Der bedeutende Einfluss der Amylnitriteinathmung auf die vermehrte Wärmeabgabe hat sich in allen diesen drei Versuchen in klarster Weise gezeigt. Ueber eine auffallende Erscheinung in der Sehsphaere, hervorgebracht durch die Einathmung des Amylnitrits, welche mir bei diesen Versuchen auffiel, werde ich an geeigneter Stelle ausführlicher berichten.

Im Anschluss an die späterhin mitzutheilenden Versuche mit antifebrilen Mitteln (Antipyrin und Antifebrin) an Fiebernden, habe ich diese auch an Gesunden mit Normaltemperatur erprobt und constatirte in Uebereinstimmung mit Anderen, dass deren Einfluss jedenfalls, wenn überhaupt vorhanden, äusserst gering sein muss, so dass es mir nicht gelang, ihn nachzuweisen.

XXXVIII. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. $^1/_2$7 Uhr Kaffee mit Zubehör. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10·35 Uhr.		11·5 Uhr: Differ. von $37^1/_4$ cm	$2^1/_2$
l. Therm. 23·7.		11·15 „ „ „ $37^3/_4$ „	$^1/_2$
10·35 Uhr: Differ. von 17 cm		11·20 „ „ „ $37^3/_4$ „	0
10·45 „ „ „ 28 „	11	11·25 „ „ „ $37^3/_4$ „	0
10·55 „ „ „ $34^3/_4$ „	$6^3/_4$	l. Therm. 27·9.	

Maximum von $37^3/_4$.
Hand schwitzt mässig.

11·25 Uhr: $1^1/_2$ grm Antipyrin in Oblate genommen. Nach dem Einnehmen etwas Kopfschmerz und leichtes Gefühl von Uebelkeit.

l. Therm. 27·9.	11·30 Uhr: Differenz von $37^3/_4$ cm	
	11·35 „ „ „ $37^3/_4$ „	0
	11·40 „ „ „ $37^3/_4$ „	0
l. Therm. 27·7.	11·45 „ „ „ $37^3/_4$ „	0

XXXIX. Versuch; an Paulus Gierer. Wohlbefinden. $^1/_2$7 Uhr Kaffee mit Brod. $^1/_4$10 Uhr Milch mit Brod. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 9·50 Uhr.		10·35 Uhr: Differ. von $22^1/_4$ cm	$^1/_4$
l. Therm. 17·2.		10·40 „ „ „ $22^1/_2$ „	$^1/_4$
9.50 Uhr: Gleichstand d. Manomet.		10·45 „ „ „ $22^3/_4$ „	$^1/_4$
10·5 „ Differ. von $14^1/_2$ cm		10·50 „ „ „ $22^3/_4$ „	0
10·20 „ „ „ 20 „	$5^1/_2$	10·55 „ „ „ $22^3/_4$ „	0
10·30 „ „ „ $21^3/_4$ „	$1^3/_4$	l. Therm. 25·1.	

Maximum von $22^3/_4$ erreicht um 10·45 Uhr, also nach — Stunde 55 Minuten.

10·55 Uhr: $1^{1}/_{2}$ ^{grm} Antipyrin in Oblate genommen. Patient hat keine abnormen Empfindungen.

l. Therm. 25·0.
11·0 Uhr: Differ. von $22^{3}/_{4}$ ^{cm} 0
11·10 „ „ „ $22^{3}/_{4}$ „ 0
11·20 Uhr: Differ. von $22^{3}/_{4}$ ^{cm} 0
11·25 „ „ „ $22^{3}/_{4}$ „ 0
11·30 „ „ „ $22^{3}/_{4}$ „ 0

XL. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Zubehör. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10·15 Uhr.
l. Therm. 20·9.
10·15 Uhr: Differ. von $24^{1}/_{4}$ ^{cm}
10·20 „ „ „ $22^{1}/_{4}$ „ −2
10·25 „ „ „ $22^{3}/_{4}$ „ + $^{1}/_{2}$
10·30 „ „ „ $23^{1}/_{4}$ „ $^{1}/_{2}$
10·35 Uhr: Differ. von $23^{1}/_{2}$ ^{cm} $^{1}/_{4}$
10·40 „ „ „ $23^{3}/_{4}$ „ $^{1}/_{4}$
10·45 „ „ „ 24 „ $^{1}/_{4}$
10·50 „ „ „ 24 „ 0
10·55 „ „ „ 24 „ 0
l. Therm. 26·7.

Maximum von 24.

Am Tage vorher eine grosse Anstrengung (grössere Fussreise), deshalb vielleicht die auffallend geringe Wärmeabgabe.

10·55 Uhr: $^{1}/_{2}$ ^{grm} Antifebrin in Oblate genommen. Keinerlei abnorme subjective Empfindungen.

l. Therm. 26·7.
10·55 Uhr: Differenz von 24 ^{cm} 0
11·0 „ „ „ 24 „ 0
11·5 „ „ „ 24 „ 0
11·10 Uhr: Differenz von 24 ^{cm} 0
11·20 „ „ „ 24 „ 0
11·30 „ „ „ 24 „ 0
l. Therm. 26·7.

XLI. Versuch; an Wilhelm Morris. Wohlbefinden. $^{1}/_{2}$9 Uhr Kaffee mit Zubehör. 10 Uhr Frühstück, $^{1}/_{2}$ Liter Bier. Rechter Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10·20 Uhr.
l. Therm. 24·1.
10·20 Uhr: Differ. von $20^{1}/_{4}$ ^{cm}
10·30 „ „ „ 24 „ $3^{3}/_{4}$
10·40 „ „ „ $26^{1}/_{4}$ „ $2^{1}/_{4}$
10·50 „ „ „ $27^{3}/_{4}$ „ $1^{1}/_{2}$
11·0 „ „ „ $28^{3}/_{4}$ „ 1
11·10 Uhr: Differ. von 29 ^{cm} $^{1}/_{4}$
11·20 „ „ „ $29^{3}/_{4}$ „ $^{3}/_{4}$
11·25 „ „ „ $30^{1}/_{4}$ „ $^{1}/_{2}$
11·30 „ „ „ $30^{1}/_{4}$ „ 0
11·35 „ „ „ $30^{1}/_{4}$ „ 0
l. Therm. 27·3.

Maximum von $30^{1}/_{4}$.

11·35 Uhr: 0·5 ^{grm} Antifebrin in Oblate. Keine abnormen Empfindungen.

l. Therm. 27·3. 11·40 Uhr: Differenz von $30^{1}/_{4}$ ^{cm} 0
11·50 „ „ „ $30^{1}/_{4}$ „ 0
l. Therm. 27·3. 11·55 „ „ „ $30^{1}/_{4}$ „ 0

Es konnte also, wie ersichtlich, weder für Antipyrin noch für Antifebrin irgend ein merklicher Einfluss auf die Wärme-Oekonomie des gesunden, fieberlosen menschlichen Organismus constatirt werden. Hier könnte nun leicht Jemand einwerfen, dass die Antipyretica zwar nicht die Wärmeabgabe steigerten, wohl aber die Production der Wärme verminderten. In diesem Falle könnte sich dann dieser Effect, da der Arm nicht aus dem Apparate entfernt wurde, aus den bereits früher erörterten Gründen, nicht an einer Aenderung des Manometerstandes documentiren. Dem ist aber zu erwidern, dass nach einer grossen Reihe von Versuchen, die später folgen werden, es sicher festgestellt werden konnte, dass die Wirkung der Antipyretica auf einer Steigerung der Wärmeabgabe beruht.

Meine physiologischen Versuche habe ich mit noch einigen Versuchsreihen abgeschlossen, von denen die einen sich mit der Frage beschäftigten, ob die Wärmeabgabe der beiden Arme ein und derselben Versuchsperson eine gleich grosse sei oder nicht, die anderen die Wärmeabgabe unter local veränderten Circulationsverhältnissen zu zeigen bestimmt waren. Die Anordnung bei den ersteren dieser Versuche war folgende: Es wurde der linke Arm in den linken, der rechte in den rechten Cylinder des Apparates eingeführt, und zwar unter ganz gleichen äusseren Bedingungen; besonders wurde das Augenmerk darauf gerichtet, dass nicht etwa ein Arm sich weiter in dem Cylinder befand, als der andere. Dann wurde auf etwaige Aenderungen im Stande des Manometers geachtet.

XLII. Versuch; an mir selbst. Wohlbefinden. Beide Arme nackt, je einer in einem Cylinder.

r. Therm.	Beginn: 11·20 Uhr.				l. Therm.
9·4	11·20 Uhr:	Gleichstand d. Manometers.			7·8
11·1	11·30 „	Differenz von	$1^3/_4$ cm		10·8
12·8	11·35 „	„ „	3	„ $1^1/_4$	13·1
14·1	11·40 „	„ „	4	„ 1	14·6
15·0	11·45 „	„ „	$4^1/_2$	„ $^1/_2$	15·7
15·5	11·50 „	„ „	5	„ $^1/_2$	16·2
15·6	11·55 „	„ „	5	„ 0	16·3
15·6	12·0 „	„ „	5	„ 0	16·3

Maximum von 5 erreicht um 12 Uhr, also nach — Stunde 40 Minuten.

Die grössere Wärmeabgabe betraf den linken Arm, dementsprechend war auch das linke Thermometer höher gestiegen, als das rechte (16·3 : 15·6). Wenn jetzt mit der rechten Hand und deren Fingern kleine, wenig ausgiebige Bewegungen im Apparate ausgeführt wurden, und zwar ca. 5 Minuten lang, so erhielt man folgendes Resultat:

r. Therm.			l. Therm.
16·5	12·5 Uhr: Differenz von $3^3/_4$ cm	$-1^1/_4$	17·1
17·2	12·10 „ „ „ $1^1/_2$ „	$-2^1/_4$	17·3
17·4	12·11 „ „ „ 1 „	$-^1/_2$	17·3
17·5	12·12 „ „ „ $^3/_4$ „	$-^1/_4$	17·3
17·6	12·13 „ „ „ $^1/_2$ „	$-^1/_4$	17·4
17·6	12·15 „ „ „ $^1/_2$ „	0	17·4
17·6	12·20 „ „ „ $^1/_2$ „	0	17·4

Dieses letzte Resultat bekräftigt wiederum die schon durch frühere Versuche bewiesene Behauptung, dass nämlich auch noch so geringe Muskelbewegungen eine erhebliche Steigerung der Wärmeabgabe zur unmittelbaren Folge haben; andererseits ist dasselbe aber auch ein Beweis für die ausgezeichnete Functionstüchtigkeit des angewandten Calorimeters.

XLIII. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. $^1/_2$1 Uhr Mittag. Anordnung wie bei Versuch XLII.

r. Therm.	Beginn: 2·40 Uhr.		l. Therm.
18·1	2·40 Uhr: Gleichstand des Manometers.		18.4
19·3	2·45 „ Differenz von $^1/_4$ cm	$^1/_4$	19·3
21·0	2·50 „ „ „ $^1/_2$ „	$^1/_4$	22·0
22·9	2·55 „ „ „ $^1/_2$ „	0	24·2
23·1	3·0 „ „ „ $^1/_2$ „	0	24·3

Maximum von $^1/_2$ erreicht um 2·50 Uhr; also nach — Stunden 10 Minuten.

Wärmemehrabgabe des linken Armes.

XLIV. Versuch, an Peter Brandl. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Brod. Anordnung wie bei Versuch XLII.

r. Therm.	Beginn: 9·35 Uhr.		l. Therm.
18·1	9·35 Uhr: Gleichstand des Manometers.		18·0
18·6	9.40 „ Differenz von $1^3/_4$ cm		19·5
19·2	9·45 „ „ „ $2^1/_4$ „	$^1/_2$	20·9
19·3	9·50 „ „ „ $2^1/_4$ „	0	21·0
19·3	9·55 „ „ „ $2^1/_4$ „	0	21·0

Maximum von $2^1/_4$ erreicht um 9·45 Uhr; also nach — Stunde 10 Min. Wärmemehrabgabe des linken Armes.

XLV. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. 1 Uhr Mittag. Anordnung wie bei Versuch XLII.

r. Therm.	Beginn 3·25 Uhr.		l. Therm.
17·7	3·25 Uhr: Gleichstand des Manometers.		17·7
18·9	3·30 „ Differenz von 1 cm	0	21·0
23·6	3·35 „ „ „ 1 „	0	25·0
23·6	3·40 „ „ „ 1 „	0	25·0

Maximum von 1 erreicht 3·30 Uhr; also nach — Stunde 5 Minute. Wärmemehrabgabe des linken Armes.

Wenn ich den nun folgenden Versuch anführe, so thue ich dies nur, um mich keiner Unterlassungssünde schuldig zu machen; denn dass derselbe nicht irgendwie beweiskräftig sein kann, liegt auf der Hand, da es sich schon während des Versuches selbst zu zweien Malen herausstellte, dass eine bis jetzt noch nicht ganz aufgeklärte Functionsstörung des Apparates eintrat.

XLVI. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden.

r. Therm.	Beginn: 3·15 Uhr.		l. Therm.
13·6	3·15 Uhr: Gleichstand des Manometers.		13·7
16·7	3·20 „ Differenz von $1^3/_4$ cm		17·4
	Nach einem Geräusch plötzliches Steigen.		
19·7	3·25 Uhr: Differenz von $5^1/_2$ cm	$3^3/_4$	21·6
	Nach einem ähnlichen Geräusch plötzliches Fallen.		
21·2	3·30 Uhr: Differenz von $2^1/_4$ cm	$-3^1/_4$	23·0
22·5	3·35 „ „ „ $2^1/_4$ „	0	24.1
23·4	3·40 „ „ „ $6^1/_2$ „	$3^3/_4$	25·1
24·1	3·45 „ „ „ $13^1/_2$ „	7	28·7
24·5	3·50 „ „ „ 16 „	$5^1/_2$	26·7
24·9	3·55 „ „ „ 18 „	2	26·3
25·1	4·0 „ „ „ $19^1/_2$ „	$2^1/_2$	27·1
25·2	4·5 „ „ „ $20^1/_2$ „	1	26·9
25·3	4·10 „ „ „ 22 „	$^1/_2$	27·1
25·3	4·15 „ „ „ 22 „	0	27·2
25·3	4·20 „ „ „ 22 „	0	27·2

Maximum von 22 erreicht um 4·10 Uhr; also nach — Stunde 55 Min.

Bei allen diesen Versuchen, wenn wir von dem letzten als nicht beweisend absehen, hat es sich übereinstimmend erwiesen, dass die Wärmeabgabe des linken Armes stets eine mehr oder weniger grössere war, als die des rechten. Ob dies wirklich, wie es behauptet worden ist, von einer ungleichen Blutvertheilung in den beiden Armen, beruhend auf einem abweichenden anatomischen Bau der Blutgefässe herrührt, muss dahingestellt

bleiben. Ueberhaupt ist hier nicht der Ort, Hypothesen hierüber aufzustellen oder zu discutiren, sondern wir müssen uns mit der Constatirung dieser allerdings auffallenden Thatsache als solcher begnügen.

Die Schlussversuche der physiologischen Reihe, die Wärmeabgabe bei Behinderung des Blutabflusses vom Arme betreffend, wurden in folgender Weise ausgeführt: entweder wurden beide Arme je einer in einen Cylinder eingebracht, dann die Wärmeabgabe des einen bestimmt und dieser dann in der gleich zu beschreibenden Weise umschnürt. Oder es wurde von vorne herein einer der Arme umschnürt, und darauf beide in den Apparat eingeführt und schliesslich wurde dies Experiment auch an einem Arme allein in derselben Weise ausgeführt. Die Umschnürung geschah in der Weise, dass der Oberarm etwa im oberen Drittel des M. biceps mit einer gewöhnlichen Aderlassbinde so fest umschnürt wurde, dass die oberflächlichen Venen als starke bläuliche Stränge sichtbar wurden, also genau in derselben Weise, wie bei Ausführung eines Aderlasses. Beim ersten dieser Versuche wurde die Umschnürung mittels eines Gummischlauches bewerkstelligt, doch verbot sich die Anwendung desselben in der Folge durch die heftigen Schmerzen und Paraesthesien, die durch den zu starken Druck auftraten.

XLVII. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. Beide Arme nackt, der linke mit einem Gummischlauche umschnürt.

r. Therm.	Beginn: 5·0 Uhr.		l. Therm.
15·0	5·0 Uhr:	Gleichstand des Manometers	14·6
	5·5 „	Differenz von $^3/_4$ cm.	

Hier musste der Versuch abgebrochen werden, weil in Folge des zu heftigen Umschnürens kaum zu ertragende Schmerzen und Paraesthesien im linken Arme eintraten.

Die Wärmeabgabe betraf den nicht umschnürten rechten Arm.

XLVIII. Versuch, an Peter Brandl. Wohlbefinden. Beide Arme nackt, je einer in einem Cylinder.

l. Therm.	Beginn: 9·35 Uhr.			r. Therm.
18·0	9·35 Uhr:	Gleichstand des Manometers.		18·1
19·5	9·40 „	Differenz von $1^3/_4$ cm		18·6
20·9	9·45 „	„ „ $2^1/_4$ „	$^1/_2$	19·2
21·3	9·50 „	„ „ $2^1/_4$ „	0	20·1
21·4	9·55 „	„ „ $2^1/_4$ „	0	21·3

Maximum von $2^1/_4$ erreicht um 9·45 Uhr; also nach — Stunde 10 Min. Wärmemehrabgabe des linken Armes 9·55 Uhr: der linke Arm wird mit einer Flanellbinde mässig fest umschnürt. Dann werden beide Arme in den vorher geöffneten Apparat gebracht.

l. Therm.	Beginn: 9·58 Uhr.					r. Therm.
20·8	9·58 Uhr: Gleichstand des Manometers.					19·9
20·9	10·0 „	Differenz von		$^1/_4$ cm		20·2
21·1	10·5 „	„	„	$^1/_3$ „	$^1/_{12}$	20·6
21·1	10·10 „	„	„	$^1/_3$ „	0	20·7
21·1	10·15 „	„	„	$^1/_3$ „	0	20·7

Maximum von $^1/_3$ erreicht um 10·5 Uhr; also nach — Stunde 7 Min. Wärmemehrabgabe des rechten nicht umschnürten Armes. Der linke Arm ist blau verfärbt und fühlt sich kühl an.

10·15 Uhr: die Binde wird vom linken Arm gelöst.

r. Therm.						l. Therm.
20·9	10·18 Uhr: Gleichstand des Manometers.					20·5
21·2	10·20 „	Differenz von		$^1/_2$ cm		20·8
21·5	10·30 „	„	„	$^3/_4$ „	$^1/_4$	20·9
21·6	10·35 „	„	„	$^3/_4$ „	0	21·0
21·6	10·40 „	„	„	$^3/_4$ „	0	21·0

Maximum von $^3/_4$ erreicht um 10·30 Uhr; also nach — Stunden 12 Min. Wärmemehrabgabe des linken nicht mehr umschnürten Armes.

Brandl giebt an, bald nach dem Umschnüren in den Fingern der betreffenden Hand Kriebeln verspürt zu haben, welches während der Umschnürung anhielt. Ferner soll der linke Arm während des Umschnürtseins kälter als der rechte gewesen sein; auch nach Lösung der Ligatur giebt Brandl mit voller Bestimmtheit an, dass der linke Arm noch kälter bliebe.

XLIX. Versuch, an mir selbst. Wohlbefinden. 1 Uhr Mittag. Beide Arme nackt in je einem Cylinder.

l. Therm.	Beginn: 3·25 Uhr.					r. Therm.
17·7	3·25 Uhr: Gleichstand des Manometers.					17·7
21·0	3·30 „	Differenz von		1 cm		18·9
25·0	3·35 „	„	„	1 „	0	23·6
25·3	3·40 „	„	„	1 „	0	23·8

Maximum von 1 erreicht um 3·30 Uhr; also nach — Stunde 5 Min. Wärmemehrabgabe des linken Armes.

3·40 Uhr: es wird der linke Arm umschnürt, dann beide Arme in den vorher geöffneten Apparat gebracht.

l. Therm.					r. Therm.
24·2	3·43 Uhr:	Gleichstand des Manometers.			23·1
25·5	3·45 „	Differenz von	$^3/_4$ cm		24·1
27·0	3·50 „	„ „	2 „	$1^1/_4$	25·5
27·6	3·55 „	„ „	$2^1/_4$ „	$^1/_4$	26·0
27·7	4·0 „	„ „	$2^1/_4$ „	0	26·2
27·7	4·5 „	„ „	$2^1/_4$ „	0	26·2

Maximum von $2^1/_4$ erreicht um 3·55 Uhr; also nach — Stunde 12 Min. Wärmemehrabgabe des rechten nicht unterbundenen Armes. Paraesthesien und Schmerz im linken Arm.

L. Versuch, an Johann Dietzinger. Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Brod. Rechter Arm nackt im linken Cylinder. — Zimmertemperatur ändert sich.

l. Therm.		Beginn: 8·20 Uhr.			r. Therm.
17·3	8·20 Uhr:	Gleichstand des Manometers.			17·7
23·6	8·40 „	Differenz von	$22^3/_4$ cm		17·2
25·6	8·55 „	„ „	$28^1/_4$ „	$5^1/_2$	16·8
26·0	9·5 „	„ „	$29^3/_4$ „	$1^1/_2$	16·9
26·1	9·10 „	„ „	$30^1/_2$ „	$^3/_4$	17·1
26·1	9.15 „	„ „	$30^1/_2$ „	0	17·1
26·1	9·20 „	„ „	$30^1/_2$ „	0	17·3

Maximum von $30^1/_2$ erreicht um 9·10 Uhr, also nach — Stunde 50 Minuten.

9·20 Uhr: der rechte Arm wird umschnürt und in den vorher nicht geöffneten Apparat gebracht.

l. Therm.					r. Therm.
26·0	9·23 Uhr:	Differenz von	20 cm		17·3
25·7	9·25 „	„ „	$21^1/_4$ „	$1^1/_4$	17·4
25·6	9·30 „	„ „	$21^1/_2$ „	$^1/_4$	17·4
25·4	9·35 „	„ „	$21^1/_2$ „	0	17·3
25·4	9·40 „	„ „	$21^1/_2$ „	0	17·3

Maximum von $21^1/_2$.

9·40 Uhr: die Binde wird gelöst.

9·45 Uhr:	Differenz von	22 cm	$^1/_2$
9·50 „	„ „	$22^1/_2$ „	$^1/_2$
9·55 „	„ „	$23^1/_4$ „	$^3/_4$
10·0 „	„ „	25 „	$1^3/_4$

Hier wird der Versuch abgebrochen, weil der Zweck desselben erreicht ist.

Wie es von vorne herein nicht anders zu erwarten war, hat es sich erwiesen, dass die Wärmeabgabe des Armes, wenn der Kreislauf des Blutes in ihm gestört ist, eine geringere wird. Denn, wenn durch die eintretende venöse Stauung die Menge des Blutes, welche in einer gegebenen Zeiteinheit unter normalen Verhältnissen die Gefässe des Armes durchfliesst, um ein bedeutendes verringert wird, so ist es begreiflich, dass, da das Blut eben der Träger der Körperwärme ist, die oben angeführte Aenderung in der Wärmeabgabe eintreten muss.

Ueberblicken wir jetzt noch einmal die ganze Reihe der bis dahin mitgetheilten physiologischen Versuche, und zwar nach dem Gesichtspunkt, welchen Einfluss auf die Wärme-Oekonomie des Körpers allgemeine Verhältnisse, wie etwa Alter, Geschlecht, Grösse, Ernährung u. s. w. auszuüben im Stande sind.

Was das Alter, und dessen Einfluss auf die Wärme-Oekonomie betrifft, so ist es schwer, bei meinen für solche Zwecke an Zahl zu geringen Versuchsreihen, ein Urtheil hierüber zu fällen; doch glaube ich wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen zu dürfen, dass bei Knaben vor der Pubertät, oder auch während derselben, die Wärmeabgabe verhältnissmässig eine grössere ist, als bei Erwachsenen (s. Brandl); auch stimmt diese Beobachtung mit denen Anderer überein, welche behaupten, dass die Eigenwärme vom frühen Kindesalter bis zur Pubertät um ein Gewisses abnehme, von da ab bis etwa zum 50. Lebensjahre etwa um ebensoviel, woraus eben folgt, dass Kinder relativ mehr Wärme abgeben und produciren als Erwachsene.

Ein etwaiger Einfluss des Geschlechtes auf die Wärme-Oekonomie konnte wegen des unzureichenden Materials nicht wahrgenommen werden; doch nimmt man allgemein an, dass ein solcher Einfluss nicht bestehe. Eine sichtliche Bedeutung in unserer Frage kommt zweifelsohne der Grösse und noch mehr dem Gewichte des Körpers zu, und zwar in der Weise, dass je grösser und schwerer eine Person ist, sie unter sonst gleichen Verhältnissen um so mehr Wärme abgiebt. Dieser Behauptung scheinen nun beispielsweise die Ergebnisse der Versuche an Beschel und Gierer zu widersprechen, von denen ersterer eine Körpergrösse von 156^{cm} und ein Körpergewicht von $79 \cdot 5^{kgrm}$, letzterer eine solche von 177^{cm} und $68 \cdot 5^{kgrm}$ darbot. Und dennoch waren die Werthe der Wärmeabgabe bei diesen beiden Personen fast durchweg geringer, als z. B. bei Hrn. Morris, mir und Brandl. Aber dieser Widerspruch ist ein nur scheinbarer. Denn jene beiden Personen waren mit einem sehr stark entwickelten Panniculus adiposus versehen, ein Umstand, der die Wärmeabgabe des Körpers in sehr hohem Maasse einzuschränken im Stande ist. Aus eben diesem Grunde

erklären sich auch wohl die geringen Werthe der Wärmeabgabe bei den beiden weiblichen Versuchspersonen Meier und Müller. (24¾, 20½.)

Ebenso wie bei grösserem Körpergewicht die Wärmeproduction und Wärmeabgabe eine grössere wird, so auch bei gutem Ernährungszustande; es zeigt sich dies besonders klar bei Hrn. Morris und mir. Die Zahlenwerthe der Wärmeabgabe sind hier durchschnittlich bedeutend grösser, als die bei den übrigen Personen, welche fast alle mehr oder weniger schlechten Ernährungszustand aufzuweisen hatten, wie das bei Leuten, welche längere Zeit im Krankenhause verweilten, nicht anders zu erwarten ist. Doch sprechen hier noch mehrere der oben erwähnten Momente mit; so beispielsweise bei mir, der durch meinen grösseren Körperbau (wodurch eine grössere Oberfläche geschaffen wird) bedingte grössere Wärmeverlust durch Leitung und Strahlung; ferner der gering entwickelte Panniculus adiposus. Die Steigerung der Wärmeabgabe zur Zeit des Eintritts der physiologischen, täglichen Temperatursteigerung, etwa zwischen 5 und 7 Uhr des Abends konnte mehrmals sicher constatirt werden (Versuch V, XXXIII); ebenso auch der Einfluss der Nahrungsaufnahme (Versuch I, IX, XIV).

Nachdem an der Hand von 50 Versuchen vorstehende Resultate erzielt worden waren, stellte ich mir noch die Aufgabe, in einem zweiten Theile dieser Arbeit die Wärmeverhältnisse des fiebernden menschlichen Organismus zu studiren. Anfangs stellte ich meine Versuche an Kranken mit geringen Temperatursteigerungen (meist Phthisikern) an, da aber die Resultate wenig befriedigende waren, machte ich meine Beobachtungen bald an Hochfiebernden, besonders an Patienten, die an acuten Infectionskrankheiten darniederlagen, und hier waren auch die Ergebnisse meist recht zufriedenstellende.

Es scheint mir zweckmässig zu sein, wenn ich mich in der Reihenfolge der Versuche nach der Art der Erkrankung und der Art des Fiebers der Versuchspersonen richte, und zwar werde ich mit den Phthisikern beginnen, will aber nicht versäumen, nochmals darauf hinzuweisen, dass bei diesen wegen der verhältnissmässig geringen Temperaturerhöhungen die Ergebnisse der angestellten Versuche weniger in die Augen fallende waren, als jene bei hoch Fiebernden gefundenen. Sämmtliche Messungen der Körperwärme wurden im Rectum vorgenommen.

LI. Versuch; an Johann Baltheisser. Nähere Personalangaben in Versuch XVII. Temperatur kurz vor dem Versuch 37·9. 7 Uhr Kaffee mit Zubehör. ½11 Uhr ½ Liter Milch. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 11·15 Uhr.

r. Therm. 19·0. l. Therm. 18·7.

11·15 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.			
11·20 „	Differ. von		$9\frac{1}{2}$ cm	
11·25 „	„	„	$14\frac{3}{4}$ „	$5\frac{1}{4}$
11·30 „	„	„	$17\frac{3}{4}$ „	3
11·35 „	„	„	20 „	$2\frac{1}{4}$
11·40 Uhr:	Differ.	von	$21\frac{1}{2}$ cm	$1\frac{1}{2}$
11·45 „	„	„	22 „	$\frac{1}{2}$
11·50 „	„	„	23 „	1
11·55 „	„	„	$23\frac{3}{4}$ „	$\frac{3}{4}$
12·0 „	„	„	$23\frac{3}{4}$ „	0
12·5 „	„	„	$23\frac{3}{4}$ „	0

r. Therm. 19·0. l. Therm. 26·0.

Maximnm von $23\frac{3}{4}$ erreicht um 11·55 Uhr, also nach — Stunde 40 Minuten.

Kurz nach dem Versuch 37·9 Temperatur.

LII. Versuch; an Johann Baltheisser. Subjectives Wohlbefinden. 6 Uhr Suppe. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 38·9. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 6·20 Uhr.

l. Therm. 22·2. r. Therm. 22·2.

6·20 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.			
6·25 „	Differenz von		$8\frac{1}{4}$ cm	
6·30 „	„	„	13 „	$4\frac{3}{4}$
6·35 „	„	„	17 „	4
6·40 „	„	„	$19\frac{1}{2}$ „	$2\frac{1}{2}$
6·45 „	„	„	$21\frac{1}{2}$ „	2
6·50 Uhr:	Differenz	von	23 cm	$1\frac{1}{2}$
6·55 „	„	„	24 „	1
7·0 „	„	„	25 „	1
7·5 „	„	„	26 „	1
7·10 „	„	„	26 „	0
7·15 „	„	„	26 „	0

l. Therm. 31·2. r. Therm. 22·5.

Maximum von 26 erreicht um 7·5 Uhr, also nach — Stunde 45 Minuten.

Kurz nach dem Versuch Temperatur von 39·0.

LIII. Versuch; an Johann Baltheisser. Subjectives Wohlbefinden. 7 Uhr Kaffee mit Zubehör. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 37·1. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 9·30 Uhr.

l. Therm. 21·7. r. Therm. 21·7.

9·30 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.			
9·35 „	Differ. von		$6\frac{3}{4}$ cm	
9·40 „	„	„	$11\frac{3}{4}$ „	5
9·45 „	„	„	$14\frac{1}{4}$ „	$2\frac{1}{2}$
9·50 „	„	„	$17\frac{1}{2}$ „	$3\frac{1}{4}$
9·55 Uhr:	Differ.	von	$19\frac{1}{2}$ cm	2
10·0 „	„	„	21 „	$1\frac{1}{2}$
10·5 „	„	„	$22\frac{1}{4}$ „	$1\frac{1}{4}$
10·10 „	„	„	23 „	$\frac{3}{4}$
10·15 „	„	„	$23\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{2}$
10·20 „	„	„	$23\frac{1}{2}$ „	0
10·25 „	„	„	$23\frac{1}{2}$ „	0

Maximum von $23\frac{1}{2}$ erreicht um 10·15 Uhr, also nach — Stunde 45 Minuten.

Nach dem Versuch Temperatur von 37·3.

LIV. Versuch; an Johann Baltheisser.

Siehe Versuch XVII der physiologischen Reihe.

Es folgen jetzt einige Beobachtungen an einem Phthisiker, der ebenfalls nur geringe Temperaturerhöhungen aufwies, dessen Fiebercurve jedoch die nicht sehr häufige Erscheinung des Typus inversus zeigte.

LV. Versuch; an Johann Regenfuss. 53 Jahre. Zimmermann. Wenig kräftiger Körperbau; schlechter Ernährungszustand. Sehr geringer Panniculus adiposus. Phthisiker (Lunge) mit Typus inversus. Dem entspricht aber nicht das Befinden des Patienten, da er sich Morgens wohler als Abends fühlt. Körperlänge 168^{cm}. Körpergewicht 105 Pfund. Länge des Armes 65^{cm}. Umfang des Oberarmes 19^{cm}. Befinden mässig gut. 6 Uhr Kaffee mit Brod. Appetit nicht vorhanden. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 39·0. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 8·55 Uhr.
l. Therm. 16·8.

8·55 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
9·0 „	Differ. von	16^{cm}	
9·5 „	„ „	$22\frac{1}{2}$ „	$6\frac{1}{2}$
9·10 „	„ „	27 „	$4\frac{1}{2}$
9·15 „	„ „	30 „	3
9·20 „	„ „	$32\frac{1}{2}$ „	$2\frac{1}{2}$
9·25 „	„ „	$34\frac{1}{2}$ „	2
9·30 „	„ „	$36\frac{1}{2}$ „	2
9·35 Uhr:	Differ. von	$38\frac{1}{2}$ cm	2
9·40 „	„ „	40 „	$1\frac{1}{2}$
9·45 „	„ „	$41\frac{1}{2}$ „	$1\frac{1}{2}$
9·50 „	„ „	$42\frac{3}{4}$ „	$1\frac{1}{4}$
9·55 „	„ „	$43\frac{3}{4}$ „	1
10·0 „	„ „	44 „	$\frac{1}{4}$
10·5 „	„ „	44 „	0
10·10 „	„ „	44 „	0

l. Therm. 30·6.

Geringfügiges taubes Gefühl in den Fingerspitzen, welches im Verlaufe des Versuches noch etwas stärker wird. Hand schwitzt nicht.

Maximum von 44 erreicht um 10·0 Uhr, also nach 1 Stunde 5 Minuten.

LVI. Versuch; an Johann Regenfuss. Patient fühlt sich schwach. 12 Uhr Mittag. 2 Uhr Kaffee mit Brod. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 37·4. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 5·12 Uhr.
l. Therm. 26·2.

5·12 Uhr:	Differ. von	$21\frac{3}{4}$ cm	
5·15 „	„ „	22 „	$\frac{1}{4}$
5·20 Uhr:	Differ. von	$22\frac{1}{2}$ cm	$\frac{1}{2}$
5·25 „	„ „	$22\frac{1}{2}$ „	0
5·30 „	„ „	$22\frac{1}{2}$ „	0

l. Therm. 25·8.

Maximum von $22\frac{1}{2}$ erreicht um 5·15 Uhr.

Kurz nach dem Versuch 36·6 Temperatur.

LVII. Versuch; an Johann Regenfuss. Subjectives Wohlbefinden. 12 Uhr Mittag. 2 Uhr Kaffee mit Brod. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 37·1. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·0 Uhr.	4·15 Uhr: Differenz von 24 cm $^1/_2$
l. Therm. 26·7.	4·20 „ „ „ 24 „ 0
4·0 Uhr: Differenz von 21 cm	4·25 „ „ „ 24 „ 0
4·5 „ „ „ 23 „ 2	l. Therm. 25·5.
4·10 „ „ „ $23^1/_2$ „ $^1/_2$	

Maximum von 24 erreicht um 4·15 Uhr.

Kurz nach dem Versuch Temperatur von 36·8.

Sehen wir vom Versuch LV ab, dessen hohe Wärmeabgabe von 44 mir bisher noch räthselhaft geblieben ist, so zeigen alle übrigen Versuchsergebnisse übereinstimmend einen recht niedrigen Werth der Wärmeabgabe. Dieser Werth übersteigt nirgends die Zahl 29, durchschnittlich ist er aber nur etwa 24. Ob diese geringe Wärmeabgabe eine Folge des schwächlichen Körperbaues, des schlechten Ernährungszustandes, den beide Patienten in deutlichster Weise zeigten, ist, oder ob dieselbe ein Ausdruck des Fiebers in der Weise ist, dass durch das den Fieberprocess bedingende Agens das vasomotorische Centrum derart gereizt wird, dass die Gefässe, besonders die der Körperoberfläche, sich stark contrahiren und so die Wärmeabgabe einschränken, darüber werde ich am Schlusse meiner Versuche über das Fieber mich eingehender aussprechen. Hervorzuheben ist ferner der Umstand, dass bei diesen Kranken mit geringen Temperatursteigerungen regelmässig zur Zeit des Ansteigens der Körpertemperatur am Abend eine, wenn auch nur geringe Steigerung der Wärmeabgabe zu constatiren war. Auch hierüber will ich an dieser Stelle, um mich nicht wiederholen zu müssen, mich nicht näher auslassen.

In einem Falle war es mir vergönnt, die Verhältnisse der Wärmeabgabe im Fieberfrost und in der Zeit nach dem Aufhören desselben eingehend zu studiren.

LVIII. Versuch; an Martha Vestner. 25 Jahre, verheirathet, zwei Kinder. Schwächlicher Körperbau. Ungenügender Ernährungszustand. Sehr geringer Panniculus adiposus. Phthisis pulmonum. Seit dem Jahre 1884 Husten. Körpergewicht 84 Pfund. Länge des Armes 56 cm. Umfang des Oberarmes 18 cm. 12 Uhr Mittag. 2 Uhr Kaffee mit Brod. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 39·0. Seit $3^1/_2$ Uhr hat Patientin leichten Frost, der ungefähr alle 2–3 Minuten auftritt. Die Haut im Gesicht und an den Armen fühlt sich kühl an, an der Brust ziemlich warm. Cutis anserina. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

l. Therm.	Beginn: 5·20 Uhr.	
28·4	5·20 Uhr: Differenz von 20 cm	
26·7	5·25 „ „ „ $18^3/_4$ „	$-1^1/_4$
26·9	5·30 „ „ „ 17 „	$-1^3/_4$

l. Therm.			
27·3	5·35 Uhr: Differenz von	$15^1/_4$ cm	$-1^3/_4$
27·6	5·40 „ „ „	14 „	$-1^1/_4$
27·8	5·45 „ „ „	13 „	−1
28·1	5·50 „ „ „	$12^1/_2$ „	$-\ ^1/_2$
28·4	5·55 „ „ „	$12^3/_4$ „	$+\ ^1/_4$
29·1	6·5 „ „ „	$13^1/_2$ „	$^3/_4$
29·8	6·10 „ „ „	$14^1/_4$ „	$^3/_4$
29·9	6·15 „ „ „	$14^1/_4$ „	0
30·0	6·20 „ „ „	$14^3/_4$ „	$^1/_2$
30·1	6·25 „ „ „	$15^1/_4$ „	$^1/_2$
30·2	6·30 „ „ „	$15^3/_4$ „	$^1/_2$
30·2	6·35 „ „ „	$16^1/_2$ „	$^3/_4$

Hier wird der Versuch abgebrochen, da Patientin sehr ermüdet ist.

Um 5·50 Uhr, also genau zu der Zeit, als der Manometer nach längerem Fallen zu steigen begann, giebt Patientin an, dass kein Frost mehr eingetreten sei und sie wieder das Gefühl von Wärme habe. Doch hat sie keinerlei Fieberempfindungen. 6 Uhr: Kopf und Arme fühlen sich wieder wärmer an.

Kurz nach dem Versuch Temperatur von 39·4.

Diese Beobachtung ist also ein erneuter Beweis für die allerseits anerkannte Behauptung, dass im Fieberfroste — hier handelte es sich allerdings nicht um einen ausgesprochenen Frost, sondern nur um leichtes in kurzen Intervallen auftretendes Frösteln — die Wärmeabgabe eine sehr geringe ist und zwar in Folge der stark contrahirten Hautgefässe. Interessant ist besonders der Umstand, dass sofort mit dem Aufhören des subjectiven Kältegefühls auch die Wärmeabgabe stieg. Dass sich dieses sofort an dem veränderten Stande des Manometers kundgab, ist gewiss ein Beweis für die ausserordentliche Functionstüchtigkeit und Brauchbarkeit des angewandten Apparates. Der Wiederanstieg der Temperatur nach dem Aufhören des Fröstelns war ein ausserordentlich langsamer; doch zeigte er sich auch deutlich an dem Wärmerwerden der Haut, besonders am Kopf und den oberen Extremitäten, sowie am sofortigen Schwinden der Cutis anserina. Leider war es wegen der grossen Ermüdung der Patientin nicht angängig, den Versuch noch länger auszudehnen, und so war es mir nicht möglich, den höchsten Manometerstand abzuwarten. Doch war ja der Hauptzweck des Versuches bereits erreicht.

Es folgt jetzt eine Reihe von Beobachtungen an einem Typhuskranken, die ich fast vom Beginn der Erkrankung an bis zum Tode des Patienten

anzustellen in der Lage war, und die einige wohl nicht ganz uninteressante Ergebnisse zu Tage förderten.

LIX. Versuch, an Michael Fees. Dienstknecht. 18 Jahre. Grosser, kräftiger Körperbau. Guter Ernährungszustand. Mässig entwickelter Panniculus adiposus. Früher niemals krank gewesen. Am 26. März 1887 mit Fieber erkrankt; am 30. März in das Spital aufgenommen. $\frac{1}{2}$9 Uhr 0·5 grm Calomel. 9 Uhr Milch. Länge des Armes 56·5 cm, Umfang des Oberarmes 23 cm. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 39·2. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10·2 Uhr.
l. Therm. 17·9. (1. IV. 87.)

Zeit		Differenz von (cm)	
10·2 Uhr:	Gleichstand des Manomet.		
10·5 „	Differenz von	$4\frac{3}{4}$ cm	
10·10 „	„	„ $12\frac{1}{4}$	„ $7\frac{1}{2}$
10·15 „	„	„ $16\frac{1}{4}$	„ 4
10·20 „	„	„ $19\frac{1}{2}$	„ $3\frac{1}{4}$
10·25 „	„	„ $21\frac{1}{2}$	„ 2
10·30 „	„	„ $23\frac{1}{2}$	„ 2
10·35 Uhr:	Differenz von	25 cm	$1\frac{1}{2}$
10·40 „	„	„ $26\frac{1}{4}$	„ $1\frac{1}{4}$
10·45 „	„	„ $27\frac{1}{4}$	„ 1
10·50 „	„	„ 28	„ $\frac{3}{4}$
10·55 „	„	„ $28\frac{1}{2}$	„ $\frac{1}{2}$
11·0 „	„	„ $28\frac{1}{2}$	„ 0
11·5 „	„	„ $28\frac{1}{2}$	„ 0

l. Therm. 26·8.

Maximum von $28\frac{1}{2}$ erreicht um 10·55 Uhr, also nach — Stunde 59 Minuten.

Hand warm; pelziges Gefühl in derselben.

LX. Versuch, an Michael Fees. Patient fühlt sich matt. $\frac{1}{2}$12 Uhr 0·5 Calomel. 12 Uhr Bouillon. 2 Uhr Milch. Linker Arm nackt im linken Cylinder. Vor dem Versuch Temperatur von 39·3.

Beginn: 4·30 Uhr.
l. Therm. 24·4. (1. IV. 87.)

Zeit		Differenz von (cm)	
4·30 Uhr:	Differenz von	17 cm	
4·35 „	„	„ $19\frac{1}{2}$	„ $2\frac{1}{2}$
4·40 „	„	„ 24	„ $4\frac{1}{2}$
4·45 „	„	„ 25	„ 1
4·50 „	„	„ $25\frac{1}{2}$	„ $\frac{1}{2}$
4·55 Uhr:	Differenz von	26 cm	$\frac{1}{2}$
5·0 „	„	„ $26\frac{3}{4}$	„ $\frac{3}{4}$
5·5 „	„	„ 27	„ $\frac{1}{4}$
5·10 „	„	„ $27\frac{1}{4}$	„ $\frac{1}{4}$
5·15 „	„	„ $27\frac{1}{4}$	„ 0
5·20 „	„	„ $27\frac{1}{4}$	„ 0

l. Therm. 27·9.

Maximum von $27\frac{1}{4}$.

Nach dem Versuch Temperatur von 39·5.

LXI. Versuch, an Michael Fees. Patient fühlt sich zwar matt, im Allgemeinen aber subjectiv wohl. Diagnose auf Typhus sicher. Patient klagt nicht über subjectives Hitzegefühl. $\frac{1}{2}$9 Uhr Temperatur von 40·4. Darauf Bad (26° bis 20° R.). Nach dem Bade 9·10 Uhr Temperatur von 39·5. $7\frac{1}{2}$ Uhr Milch. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10·30 Uhr.
l. Therm. 22·0. (2. IV. 87.)

Zeit		Differenz	
10·30 Uhr:	Gleichstand des Manomet.		
10·35 „	Differenz von	6 cm	
10·40 „	„ „	$7\frac{1}{2}$ „	$1\frac{1}{2}$
10·45 „	„ „	$8\frac{1}{2}$ „	1
10·50 Uhr:	Differenz von	9 cm	$\frac{1}{2}$
10·55 „	„ „	$9\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
11·0 „	„ „	$9\frac{1}{4}$ „	0
11·5 „	„ „	$9\frac{1}{4}$ „	0

l. Therm. 24·2.

Maximum von $9\frac{1}{4}$ erreicht um 10·55 Uhr, also nach — Stunde 25 Minuten.

Der Arm fühlt sich nach dem Herausnehmen kühl an.

LXII. Versuch, an Michael Fees. Patient ist etwas matt, klagt nicht über Hitzegefühl. 12 Uhr Bouillon. 2 Uhr Milch. Vor dem Versuch Temperatur von 40·4. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 5·30 Uhr.
l. Therm. 25·4. (2. IV. 87.)

Zeit		Differenz	
5·30 Uhr:	Differenz von	16 cm	
5·35 „	„ „	18 „	2
5·40 „	„ „	$20\frac{1}{2}$ „	$2\frac{1}{2}$
5·45 „	„ „	$21\frac{3}{4}$ „	$1\frac{1}{4}$
5·50 „	„ „	$22\frac{1}{2}$ „	$\frac{3}{4}$
5·55 „	„ „	$23\frac{1}{4}$ „	$\frac{3}{4}$
6·0 Uhr:	Differenz von	$23\frac{3}{4}$ cm	$\frac{1}{2}$
6·5 „	„ „	$24\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
6·10 „	„ „	$24\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
6·15 „	„ „	$24\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
6·20 „	„ „	$24\frac{3}{4}$ „	0
6·25 „	„ „	$24\frac{3}{4}$ „	0

l. Therm. 28·0.

Maximum von $24\frac{3}{4}$.

LXIII. Versuch, an Michael Fees. Patient klagt über Halsschmerz und Hitzegefühl. Rumpf fühlt sich sehr heiss an, Kopf und Arme weniger. 12 Uhr Bouillon. 2 Uhr Milch. Temperatur kurz vor dem Versuch 40·7. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·0 Uhr.
l. Therm. 24·2. (4. IV. 87.)

Zeit		Differenz	
4·0 Uhr:	Gleichstand des Manomet.		
4·10 „	Differenz von	11 cm	
4·20 „	„ „	$16\frac{1}{2}$ „	$5\frac{1}{2}$
4·30 „	„ „	$19\frac{1}{2}$ „	3
4·40 „	„ „	$21\frac{1}{2}$ „	2
4·50 „	„ „	$22\frac{1}{2}$ „	1
5·0 Uhr:	Differenz von	$22\frac{3}{4}$ cm	$\frac{1}{2}$
5·5 „	„ „	$23\frac{1}{2}$ „	$\frac{3}{4}$
5·10 „	„ „	$23\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
5·15 „	„ „	24 „	$\frac{1}{4}$
5·20 „	„ „	24 „	0
5·25 „	„ „	24 „	0

l. Therm. 26·8.

Maximum von 24 erreicht um 5·15 Uhr, also nach 1 Stunde 15 Minuten.

Der grösseren Einfachheit halber schliesse ich hier sogleich meine Versuche über die antifebrile Wirkung einiger Antipyretica (Antipyrin, Antifebrin) und kalter Bäder mit kalten Uebergiessungen, welche bei denselben Patienten angestellt wurden, an.

Nachdem also im vorigen Versuche der höchste Stand des Manometers mit 24 erreicht worden war, erhielt Patient 5·25 Uhr 1·5 grm Antipyrin in Oblate.

l. Therm. 26·9. 5·25 Uhr: Differenz von 24 cm
5·30 „ „ „ $23^1/_2$ „ — $^1/_2$

Patient hatte den Arm ein wenig aus dem Cylinder gezogen.

	5·35 Uhr: Differenz von	$26^1/_2$ cm	+ 3
	5·40 „ „ „	$30^1/_4$ „	$3^3/_4$
	5·45 „ „ „	$34^1/_4$ „	4
	5·50 „ „ „	$37^1/_4$ „	3
	5·55 „ „ „	$39^1/_4$ „	2
l. Therm. 31·8.	6·0 „ „ „	$40^1/_4$ „	1

Der Versuch wurde hier abgebrochen, da Patient uriniren musste. 5·53 Uhr: Das ganze Gesicht, sowie der Arm des Patienten ist mit Schweiss bedeckt. Die Haut des übrigen Körpers ist trocken. Kurz nach dem Versuch Temperatur von 39·8.

LXIV. Versuch, an Michael Fees. Status wie gestern. 7 Uhr: Temperatur von 40·1; $7^1/_2$ Uhr: Bad; nach demselben Temperatur von 37·6. Patient reagirt sehr gut auf Bäder. 7 Uhr Milch. Ab und zu etwas Wein. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 36·6 Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn 9·40 Uhr.
l. Therm. 19·8. (5. IV. 87.)
9·40 Uhr: Gleichstand d. Manomet.

9·50 „ Differ. von	12 cm	
10·0 „ „ „	$15^1/_2$ „	$3^1/_2$
10·10 „ „ „	$16^3/_4$ „	$1^1/_4$
10·15 „ „ „	$17^3/_4$ „	1
10·20 Uhr: Differ. von	$18^1/_2$ cm	$^3/_4$
10·25 „ „ „	$19^1/_4$ „	$^3/_4$
10·30 „ „ „	20 „	$^3/_4$
10·35 „ „ „	20 „	0
10·40 „ „ „	20 „	0

l. Therm. 27·8.

Maximum von 20 erreicht um 10·30 Uhr; also nach — Stunde 50 Min.

10·30 Uhr: Patient zeigt eine Temperatur von 39·8. Darauf Bad (von 24—20° R.). 10 Minuten lang mit kalten Uebergiessungen von 8° R. Nach dem Bade Temperatur von 37·2.

Nach dem Bade wird Patient wieder in den Apparat gebracht.

l. Therm. 22·5.
10·55 Uhr: Gleichstand d. Manomet.

11·0 „ Differenz von	$5^1/_4$ cm	
11·5 „ „ „	$6^1/_2$ „	$^3/_4$
11.10 „ „ „	$7^1/_2$ „	1
11·15 „ „ „	$7^3/_4$ „	$^1/_4$
11·20 „ „ „	$8^1/_4$ „	$^1/_2$
11·25 Uhr: Differenz von	$8^1/_2$ cm	$^1/_4$
11·30 „ „ „	$9^1/_4$ „	$^3/_4$
11·35 „ „ „	$9^3/_4$ „	$^3/_4$
11·40 „ „ „	$9^3/_4$ „	0
11·45 „ „ „	$9^3/_4$ „	0

l. Therm. 23·5.

Maximum von $9^{3}/_{4}$ erreicht um 11·35 Uhr; also nach — Stunde 40 Min.

Kopf und Extremitäten fühlen sich kühl an, Rumpf mässig heiss. Der Arm zeigt sich nach der Herausnahme etwas cyanotisch.

LXV. Versuch; an Michel Fees. Status idem. Früh Temperatnr von 39·8, darauf um $7^{1}/_{2}$ Uhr Bad: nach demselben Temperatur von 38·0. 7 Uhr Milch. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 10.5 Uhr.

l. Therm. 26·2. (6. IV. 87.)

Zeit			Differenz	
10·5 Uhr:	Differ.	von	11 cm	
10·15 „	„	„	$7^{1}/_{4}$ „	$-3^{3}/_{4}$
10·25 „	„	„	$6^{1}/_{4}$ „	-1
10·35 „	„	„	$5^{1}/_{4}$ „	-1
10·40 Uhr:	Differ.	von	$4^{3}/_{4}$ cm	$-\,^{1}/_{2}$
10·45 „	„	„	$4^{1}/_{4}$ „	$-\,^{1}/_{4}$
10·50 „	„	„	$4^{1}/_{4}$ „	0
10·55 „	„	„	$4^{1}/_{4}$ „	0

l. Therm. 24·7.

Maximum von $4^{1}/_{4}$.

Der Arm befindet sich um ein nicht unbedeutendes Stück weniger im Cylinder, als bei den früheren Versuchen. Da Patient somnolent ist, kann hierin kein Wandel geschaffen werden.

10·55 Uhr: Patient erhält 0·5 grm Antifebrin und zwar zum ersten Male.

l. Therm. 24·6.

Zeit			Differenz	
11·0 Uhr:	Differenz	von	$4^{1}/_{4}$ cm	
11·10 „	„	„	$4^{1}/_{2}$ „	$^{1}/_{4}$
11·20 „	„	„	$7^{3}/_{4}$ „	$3^{1}/_{2}$
11·30 „	„	„	$14^{1}/_{2}$ „	$6^{3}/_{4}$
11·40 „	„	„	21 „	$6^{1}/_{2}$
11·45 „	„	„	$23^{3}/_{4}$ „	$2^{3}/_{4}$
11·50 Uhr:	Differ.	von	$25^{1}/_{2}$ cm	$1^{3}/_{4}$
11·55 „	„	„	$26^{1}/_{4}$ „	$^{3}/_{4}$
12·0 „	„	„	27 „	$^{3}/_{4}$
12·5 „	„	„	$27^{1}/_{2}$ „	$^{1}/_{2}$
12·10 „	„	„	$27^{1}/_{2}$ „	0
12·15 „	„	„	$27^{1}/_{2}$ „	0

l. Therm. 31·5.

Maximum von $27^{1}/_{2}$.

Während der ganzen Versuche schwitzt Patient stark im Gesicht. Der Arm ist ganz nass vom Schweiss.

Kurz nach dem Versuch Temperatur von 38·7
Um 1·0 Uhr „ „ 38·4

10. IV. 87 $2^{1}/_{2}$ Nachmittags stirbt Patient. Autopsie ergiebt typischen Ileo-Typhus.

Was lehren nun diese Versuche bezüglich der Wärme-Oekonomie im Fieber? Vor Allem kann wohl mit an Gewissheit streifender Wahrscheinlichkeit behauptet werden, dass die Wärmeabgabe des Patienten Fees im Allgemeinen eine bedeutend geringere war, als sie dies im normalen Zustande gewesen wäre. Dieselbe überstieg niemals den Werth von $28^{1}/_{2}$.

Wenn man bedenkt, dass Patient ein grosser kräftig gebauter, gut ernährter junger Mann von 18 Jahren mit nur gering entwickeltem Fettpolster war, der also alle Bedingungen zu einer regen Wärmeabgabe seines Körpers in sich vereinte, und wenn man andererseits die hohen Werthe der Wärmeabgabe beispielsweise von Hrn. Morris und mir in Betracht zieht, so wird man sich der oben aufgestellten Behauptung nicht verschliessen können.

Ein weiteres nicht unwichtiges Moment scheint mir der Umstand zu sein, dass bei jedem höheren Anstieg der Temperatur im Innern eine geringere Wärmeabgabe nach aussen zu verzeichnen war. Dies widerspricht nun vollkommen der bei der ersten Versuchsreihe gefundenen Thatsache; denn dort stellte es sich heraus, dass beim Ansteigen der Körpertemperatur jedes Mal auch ein solches der Wärmeabgabe eintrat. Eine Erklärung hierfür werde ich erst dann zu geben versuchen, wenn ich die übrigen einschlägigen Versuche in extenso mitgetheilt haben werde. Ebenso will ich hier bezüglich der Wirkung der Antipyretica sowie der kühlen Bäder mit kalten Uebergiessungen nur die Thatsache feststellen, dass erstere jedes Mal eine Vermehrung, letztere eine bedeutende Verminderung der Wärmeabgabe zur unmittelbaren Folge hatten, indem ich mir ebenfalls vorbehalte, an einer späteren Stelle mich näher hierüber zu verbreiten.

Es folgen jetzt Beobachtungen an einem Kranken mit Pneumonia crouposa.

LXVI. Versuch; an Carl Hennings. Soldat. 19 Jahre. Ziemlich grosser, kräftiger Körperbau. Guter Ernährungszustand. Gering entwickelter Panniculus adiposus. Früher immer gesund gewesen. Jetzt Pneumonia crouposa. Körpergewicht 139 Pfund. 1 Uhr Temperatur von 40·8, Bad um 2 Uhr, nach demselben 40·5. Patient reagirt schlecht auf Bäder. 7 Uhr Milch. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 40·7. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·35 Uhr.
l. Therm. 17·8.

4·35 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.			
4·40 „	Differ.	von	$16^1/_2$ cm	
4·45 „	„	„	$14^1/_2$ „	4
4·50 „	„	„	16 „	$1^1/_2$
4·55 „	„	„	$18^1/_2$ „	$2^1/_2$
5·0 Uhr:	Differ.	von	$20^1/_2$ cm	2
5·5 „	„	„	22 „	$1^1/_2$
5·10 „	„	„	$22^1/_4$ „	$^1/_4$
5·15 „	„	„	$22^1/_2$ „	$^1/_4$
5·20 „	„	„	$22^1/_2$ „	0
5·25 „	„	„	$22^1/_2$ „	0

l. Therm. 25·3.

Maximum von $22^1/_2$ erreicht um 5·15 Uhr, also nach — Stunde 40 Minuten.

Patient klagt über Kopfschmerz, starkes Hitzegefühl und Seitenstechen rechts. Nach dem Bade keine Besserung des Befindens.

LXVII. Versuch; an Carl Hennings im unmittelbaren Anschluss an den vorhergehenden Versuch. Klagt über starkes Hitzegefühl. $^1/_2$6 Uhr zum ersten Male 1·5 ^{grm} Antipyrin in Oblate. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 6·10 Uhr.
l. Therm. 27·9.

Zeit		Differ. von		
6·10	Uhr:	Differ. von	22 cm	
6·15	„	„ „	30 „	8
6·20	„	„ „	$32^1/_2$ „	$2^1/_2$
6·25	„	„ „	34 „	$1^1/_2$
6·30	„	„ „	$34^1/_4$ „	$^1/_4$
6·35	Uhr:	Differ. von	35 cm	$^3/_4$
6·40	„	„ „	$35^1/_2$ „	$^1/_2$
6·45	„	„ „	$35^3/_4$ „	$^1/_4$
6·50	„	„ „	36 „	$^1/_4$
6·55	„	„ „	36 „	0
7·0	„	„ „	36 „	0

l. Therm. 30·6.

Maximum von 36.

$^1/_4$ Stunde nach dem Einnehmen giebt Patient an, sich wohler zu fühlen, doch habe sich das starke Hitzegefühl noch nicht gebessert. Am Ende des Versuches jedoch klagt Patient gar nicht mehr über Hitze; auch fühlt sich die Haut des Körpers deutlich kälter an, als zuvor.

Nach dem Versuch Temperatur von 39·4; vor demselben 40·5.

LXVIII. Versuch; an Carl Hennings. Heftige Schmerzen. Hitzegefühl. $^1/_2$7 Uhr Milch. $^1/_2$9 Uhr 0·01 Morphium subcutan. Eisblase auf die Brust. Kurz vor dem Versuch Temperatur von 40·2. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 9·30 Uhr.
l. Therm. 19·8.

Zeit		Differ. von		
9·30	Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
9·40	„	Differ. von	18 cm	
9·50	„	„ „	$23^1/_2$ „	$5^1/_2$
10·0	Uhr:	Differ. von	24 cm	$^1/_2$
10·10	„	„ „	$24^1/_2$ „	$^1/_2$
10·15	„	„ „	$24^1/_2$ „	0
10·20	„	„ „	$24^1/_2$ „	0

l. Therm. 26·4.

Maximum von $24^1/_2$ erreicht um 10·10 Uhr, also nach — Stunde 40 Minuten.

10·20 Uhr: Patient erhält 1·5 ^{grm} Antipyrin in Oblate.

Zeit		Differ. von		
10·25	Uhr:	Differ. von	28 cm	$3^1/_2$
10·30	„	„ „	$30^1/_2$ „	$2^1/_2$
10·35	„	„ „	$31^1/_2$ „	1
10·40	„	„ „	$32^1/_4$ „	$^3/_4$
10·45	„	„ „	$32^3/_4$ „	$^1/_2$
10·50	„	„ „	33 „	$^1/_4$
10·55	„	„ „	$33^1/_2$ „	$^1/_2$
11·0	„	„ „	$33^3/_4$ „	$^1/_4$
11·5	„	„ „	34 „	$^1/_4$
11·10	Uhr:	Differ. von	$34^3/_4$ cm	$^3/_4$
11·15	„	„ „	$35^3/_4$ „	1
11·20	„	„ „	$36^1/_4$ „	$^1/_2$
11·25	„	„ „	37 „	$^3/_4$
11·30	„	„ „	$37^3/_4$ „	$^3/_4$
11·35	„	„ „	$37^3/_4$ „	0
11·40	„	„ „	$37^3/_4$ „	0

l. Therm. 29·7.

Maximum von $37^3/_4$.

Während des Versuches erhält Patient schluckweise Wasser und Wein. $^1/_2$ Stunde nach dem Einnehmen des Antipyrins giebt Patient an, dass er sich leichter fühle. Die Haut des Körpers fühlt sich, die Wangen ausgenommen, nur mässig heiss an.

Kurz nach dem Versuch	Temperatur von	40.1
Um 12 Uhr	„ „	39·9
„ 3·15 „	„ „	39·6
„ 5 „	„ „	40·2.

LXIX. Versuch; an Carl Hennings. Eintritt der Krisis. Patient fühlt sich wohl, aber sehr matt. Haut des Körpers mässig warm. Kein Schweiss: Appetit stellt sich ein. Um 1 Uhr 0·5 grm Antipyrin. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·30 Uhr.

l. Therm. 26·5.

4·30 Uhr:	Differenz von	17 cm	
4·35 „	„ „	20 „	3
·40 „	„ „	$21^3/_4$ „	$1^3/_4$
4·50 Uhr:	Differenz von	23 cm	$1^1/_4$
4·55 „	„ „	23 „	0
5·0 „	„ „	23 „	0

l. Therm. 27·1.

Maximum von 23.

Die Beobachtungen an dem Patienten Hennings zeigen dieselben Resultate, vielleicht noch in ausgeprägterer Weise, als die am Patienten Fees. Auch hier haben wir es mit einem acut Erkrankten, hoch Fiebernden zu thun. Patient ist ein ziemlich grosser, kräftig und musculös gebauter Mann, der einen recht guten Ernährungszustand und ein wenig entwickeltes Fettpolster aufweist. Dennoch übersteigen die Zahlenwerthe seiner Wärmeabgabe nicht $24^1/_2$; sie sind also noch geringer als diejenigen des Patienten Fees. Hierbei machte ich die Bemerkung, dass Hennings, welcher weniger Wärme nach aussen abgab als Fees, sich subjectiv um Vieles schlechter befand als letzterer; besonders klagte derselbe weit mehr über Störungen im Allgemeinbefinden, wie starkes Hitzegefühl, Durst und Kopfschmerz. Auch die an Fees gemachte Beobachtung, dass bei gesteigerter Körpertemperatur die Wärmeabgabe nach aussen eine geringere war, wurde durch die Versuche an Hennings bestätigt.

Die folgenden zwei Versuche wurden an einem Knaben angestellt, der an einer unregelmässig verlaufenden Lungenentzündung litt, doch war der Krankheitsprocess, als ich meine Beobachtungen begann, im Rückschritt begriffen. Trotz dessen will ich diese Versuche hier mittheilen, weil sie in anderer Beziehung nicht ganz erfolglos waren.

LXX. Versuch; an Richard Wirth. 10 Jahre. Schwächlicher Körperbau; wenig guter Ernährungszustand. Gering entwickelter Panniculus adiposus. Früher stets gesund gewesen. Unregelmässig verlaufende Pneumonia crouposa mit sehr steilen Curven. Subjectives Wohlbefinden. Appetit vorhanden. 7 Uhr Milch mit Weissbrod. 9 Uhr dasselbe. Temperatur 37·1. Linker Arm im linken Cylinder.

Beginn: 9·5 Uhr V.
l. Therm. 17·7.

9·5	Uhr: Gleichstand d. Manomet.		
9·15	„ Differ. von	$9\frac{1}{2}$ cm	
9·25	„ „ „	$14\frac{1}{2}$ „	5
9·35	„ „ „	19 „	$4\frac{1}{2}$
9·45	„ „ „	$22\frac{1}{4}$ „	$3\frac{1}{4}$
9·55	„ „ „	$24\frac{1}{4}$ „	2
10·0	„ „ „	25 „	$\frac{3}{4}$
10·5	Uhr: Differ. von	$25\frac{3}{4}$ cm	$\frac{3}{4}$
10·10	„ „ „	$26\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
10·15	„ „ „	$26\frac{3}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
10·20	„ „ „	$27\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{2}$
10·25	„ „ „	$27\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
10·30	„ „ „	$27\frac{1}{2}$ „	0
10·35	„ „ „	$27\frac{1}{2}$ „	0

l. Therm. 26·8.

Maximum von $27\frac{1}{2}$ erreicht um 10·25 Uhr, also nach 1 Stunde 20 Minuten.

LXXI. Versuch; an Richard Wirth. Subjectives Wohlbefinden. 6 Uhr Suppe. 37·8 Temperatur. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 8·5 Uhr N.
l. Therm. 16·7.

8·5	Uhr: Gleichstand d. Manomet.		
8·20	„ Differ. von	$13\frac{1}{2}$ cm	
8·35	„ „ „	19 „	$5\frac{1}{2}$
8·45	„ „ „	22 „	3
8·50	„ „ „	23 „	1
8·55	Uhr: Differ. von	24 cm	1
9·0	„ „ „	25 „	1
9·10	„ „ „	26 „	1
9·15	„ „ „	$26\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{2}$
9·20	„ „ „	$26\frac{1}{2}$ „	0
9·25	„ „ „	$26\frac{1}{2}$ „	0

l. Therm. 25·1.

Maximum von $26\frac{1}{2}$ erreicht um 9·15 Uhr, also nach 1 Stunde 10 Minuten.

9·25 Uhr: Patient erhält 1 grm Antipyrin in Oblate.

9·30	Uhr: Differ. von	27 cm	$\frac{1}{2}$
9·35	„ „ „	27 „	0
9·40	„ „ „	$27\frac{1}{4}$ „	$\frac{1}{4}$
9·45	„ „ „	$27\frac{1}{4}$ „	0
9·50	„ „ „	$27\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
9·55	Uhr: Differ. von	$28\frac{1}{4}$ cm	$\frac{3}{4}$
10·0	„ „ „	$28\frac{1}{2}$ „	$\frac{1}{4}$
10·5	„ „ „	$28\frac{1}{2}$ „	0
10·10	„ „ „	$28\frac{1}{2}$ „	0

l. Therm. 25·5.

Maximum von $28\frac{1}{2}$.

Patient schläft fast während des ganzen Versuches.

Entsprechend der nicht erhöhten Temperatur ist auch die Wärmeabgabe des Wirth eine relativ hohe ($26\frac{1}{2}$, $27\frac{1}{2}$), wenn man bedenkt, dass wir es hier mit einem kleinen, schlecht genährten Knaben zu thun

hatten. Ferner zeigte sich der geringe Einfluss des Antipyrins bei dem Patienten, übereinstimmend mit der Erfahrung, dass bei nicht Fiebernden die Antipyretica auf die Wärme-Oekonomie keinen merklichen Einfluss ausüben.

Schliesslich hatte ich noch Gelegenheit, eine einzelne Beobachtung an einem Kranken mit Erysipelas faciei zu machen, welche meine früheren Beobachtungen in glücklicher Weise vervollständigt.

LXXII. Versuch; an Nicolaus Fischer. Soldat. 23 Jahre. Kräftiger Körperbau; guter Ernährungszustand, mässiger Panniculus adiposus. Früher immer gesund gewesen. Erysipelas faciei am 6. Tage. 12 Uhr Bouillon. Vor dem Versuche Temperatur von 40·6. Patient hat schon mehrfach Antifebrin bekommen. Linker Arm nackt im linken Cylinder.

Beginn: 4·5 Uhr N.
l. Therm. 16·4.

4·5 Uhr:	Gleichstand d. Manomet.		
4·20 „	Differ. von	23 cm	
4·35 „	„ „	$23^1/_2$ „	$^1/_2$
4·40 „	„ „	$25^1/_2$ „	2
4·50 Uhr:	Differ. von	$26^1/_2$ cm	1
4·55 „	„ „	$26^3/_4$ „	$^1/_4$
5·0 „	„ „	$26^3/_4$ „	0
5·5 „	„ „	$26^3/_4$ „	0

l. Therm. 25·3.

Maximum von $26^3/_4$ erreicht um 4·55 Uhr, also nach — Stunde 50 Minuten.

5·5 Uhr: Patient erhält 0·5 grm Antifebrin.

	5·10 Uhr:	Differenz von	29 cm	$2^1/_4$
	5·20 „	„ „	32 „	3
	5·30 „	„ „	$37^3/_4$ „	$5^3/_4$
l. Therm. 29·8	5·40 „	„ „	$38^3/_4$ „	1

Versuch musste hier abgebrochen werden, weil Patient ungeduldig wurde. Patient schwitzt ziemlich schwach.

Nach dem Versuch	Temperatur von 40·0
Um 7 Uhr	„ „ 39·8
„ 8 „	„ „ 39·4
„ 9 „	„ „ 39·4.

Wie verhält sich nun die Wärme-Oekonomie, in erster Linie die Wärmeabgabe des Körpers in jenem krankhaften Zustande, den wir Fieber nennen? Da das Hauptsymptom des Fiebers die erhöhte Körpertemperatur darstellt, so ist in dieser Frage zugleich die Frage nach der Genesis des Fiebers selbst gegeben. Seit langer Zeit stehen sich auf diesem Gebiete zwei Ansichten gegenüber. Die eine lässt die Temperaturerhöhung im Fieber durch Steigerung der Wärmeproduction, die andere durch Wärmeretention in Folge verringerter Wärmeabgabe entstehen. Eine vermittelnde Stellung zwischen diesen beiden extremen Ansichten nehmen diejenigen Autoren ein, welche

sowohl das eine, wie das andere Moment für die Entstehung der Temperaturerhöhung in Anspruch nehmen. Was nun die Ergebnisse meiner hierauf bezüglichen Untersuchungen betrifft, so führen mich dieselben zu folgenden Schlüssen. Die Temperaturerhöhung im Fieber beruht im Wesentlichen auf einer Verringerung der Wärmeabgabe nach aussen. Es tritt also gleichsam eine Anstauung der normaler Weise im Organismus producirten Wärme durch die Verminderung der Abgabe nach aussen hin, ein. Es ist durchaus nicht nothwendig, nebenbei noch eine Steigerung der Wärmeproduction anzunehmen, wenn auch einer solchen Annahme mit zwingender Nothwendigkeit nicht widersprochen werden kann. Die Abnahme der Wärmeabgabe nach aussen kommt nun in folgender Weise zu Stande. Jenes unbekannte, den Fieberprocess bedingende, im Blute kreisende Agens wirkt specifisch auf das Vasomotorencentrum ein und zwar in zweierlei Weise. Entweder bewirkt dasselbe eine directe Erregung der Vasoconstrictoren, wodurch dann in Folge der starken Verengerung der Gefässe durch Contraction ihrer Wände die Wärmeabgabe verringert wird; oder es wirkt durch Reizunempfindlichmachung der Vasodilatatoren, wodurch dann die Vasoconstrictoren die Uebermacht erhalten und so auf indirectem Wege den oben geschilderten Effect erzielen. Auf welchem dieser beiden Wege die Verringerung der Wärmeabgabe erzielt wird, das hängt vielleicht von der individuellen Beschaffenheit des Kranken, vielleicht auch von der Art der Erkrankung oder des Fiebers ab. Ob aber nur das Hauptcentrum für die Vasomotoren, welches seinen Sitz in der Medulla oblongata hat, oder auch die übrigen Centren im Rückenmark in der oben angegebenen Weise thätig sind, das ist zwar mit Bestimmtheit weder zu behaupten, noch zu bestreiten, doch ist es *a priori* wohl wahrscheinlich, dass jenes im Blute kreisende Agens auf gleiche Wirkung ausübende nervöse Centra in gleicher Weise einwirkt.

Auffallend ist die Thatsache, dass alle chronisch und gering Fiebernden, wenn sie auch im Allgemeinen geringe Werthe der Wärmeabgabe aufwiesen, doch zur Zeit des Ansteigens der Innentemperatur jedesmal eine, wenn auch nur geringe Steigerung der Wärmeabgabe zeigten, während umgekehrt die acut fieberhaft erkrankten Patienten jede Steigerung ihrer Körpertemperatur mit einer Verringerung der Wärmeabgabe beantworteten. Da diese Erscheinung mit aller Constanz und ohne jedwede Ausnahme auftrat, so muss für diesen scheinbaren Widerspruch eine ausreichende Erklärung gegeben werden.

Und diese hoffe ich im Folgenden gefunden zu haben.

Wie ein jeder Theil des thierischen und menschlichen Organismus sich veränderten Verhältnissen anzupassen befähigt ist, falls ihm nur die dazu nöthige Zeit gewährt wird und falls andererseits die Veränderung der Ver-

hältnisse keine allzu tiefgreifende war, so denke ich mir, dass bei einem chronisch fiebernden Menschen zwar anfangs, wie wir es bei den acut Fiebernden stets gesehen haben, bei Steigerung der Innentemperatur eine Verringerung der Wärmeabgabe eintritt, dass aber bei längerer Dauer des Fiebers das Vasomotorencentrum durch den oft wiederholten Reiz abgestumpft wird, sich sozusagen an denselben gewöhnt und nun ein Zeitpunkt eintritt, während dessen vielleicht bei gesteigerter Körpertemperatur die Wärmeabgabe gar nicht verändert wird, während schliesslich auf eine noch unerklärliche Weise gerade die umgekehrte Wirkung eintritt, indem beim Anstieg der Binnentemperatur auch ein geringes Ansteigen der Wärmeabgabe auftritt.

Nicht uninteressant scheint mir auch die Beobachtung zu sein, dass Fiebernde, deren Wärmeabgabe eine relativ grössere ist, die also entweder eine geringere Reizbarkeit der Vasoconstrictoren, oder eine geringere Reizunempfindlichkeit der Vasodilatatoren besitzen, sich eines weit besseren subjectiven Allgemeinbefindens zu erfreuen haben. Speciell klagen dieselben weit weniger über allgemeine Fiebersymptome, wie Hitzegefühl, Durst und Kopfschmerz. So klagte beispielsweise Hennings weit mehr über letztere Erscheinungen, als Fees, welcher auch relativ mehr Wärme abgab, als Ersterer. Mit der Schwere der Erkrankung an sich scheint aber dieser Umstand nichts zu thun zu haben. — Schon oben wurde angedeutet, dass zur Erklärung der erhöhten Temperatur im Fieber die Beschränkung der Wärmeabgabe nach aussen hin völlig ausreiche, dass man aber gegen die Annahme einer gesteigerten Wärmeproduction als zweite Ursache der Temperatursteigerung an sich nichts einwenden könne. Diese gesteigerte Wärmeproduction soll nun die Folge des gesteigerten Stoffumsatzes während des Fiebers sein, welcher sich deutlich in der vermehrten Harnstoffausscheidung documentirt. Ob es nur die stickstoffhaltigen oder nur die stickstofflosen Körperbestandtheile sind, welche in verstärktem Maasse verbrennen, oder ob es beide sind, diese Frage ist immer noch nicht mit voller Sicherheit zu beantworten, kommt aber hier wenig in Betracht. Sollte nun nicht angenommen werden können, dass dieser gesteigerte Stoffumsatz erst eine Folge der durch das Fieberagens bewirkten Veränderung des Blutes, speciell seiner abnormen Erwärmung ist? Dass er bezüglich der erhöhten Körpertemperatur nur eine untergeordnete Rolle spielt? Diese Ansicht wurde in mir gestärkt durch die Ergebnisse einer Reihe von Stoffwechselversuchen, die mein Freund Dr. M. Kumagawa aus Tokio im Laboratorium des Hrn. Professors Dr. E. Salkowski angestellt hat, und die in nächster Zeit ihrer Veröffentlichung entgegensehen. Er hat unter Anderem überzeugend nachgewiesen, dass, während eine grosse Anzahl der Antipyretica, wie z. B. Antipyrin, Chinin u. s. w. den Stoffumsatz im Organismus hemmen und ver-

ringern, Antifebrin gerade das Gegentheil bewirkt, indem durch Aufnahme dieses Mittels der Stoffumsatz in erheblichem Grade erhöht und verstärkt wird. Wenn man sich nun aber vergegenwärtigt, wie prompt in den meisten Fällen gerade das letztgenannte Mittel den Fieberprocess in der günstigsten Weise beeinflusst, so ist es doch sehr unwahrscheinlich, dass das Wesen des Fiebers — worunter man ja die Erhöhung der Eigenwärme zu verstehen pflegt — durch den gesteigerten Stoffumsatz in so hohem Maasse dargestellt werde.

Was die Ergebnisse meiner Untersuchungen über die Antipyretica (Antipyrin und Antifebrin) betrifft, so hat es sich mit aller Constanz herausgestellt, dass die angewandten antifebrilen Mittel durch Steigerung der Wärmeabgabe nach aussen hin wirken. Sie befreien auf diese Weise gleichsam den Organismus von der Last der in ihm über das normale Maass gestiegenen Wärme, die durch Nichtabgabe nach aussen aufgehäuft wurde. Diese Mittel müssen also jedenfalls in der Weise ihre Wirkung entfalten, dass sie entweder die Reizbarkeit der Vasoconstrictoren abschwächen, oder diejenige der Vasodilatatoren erhöhen. Der Schlusseffect ist in beiden Fällen derselbe, nämlich eine mehr oder weniger beträchtliche Erweiterung besonders der Hautgefässe, die sich deutlich in dem Rothwerden der Haut kund giebt. Dazu kommt dann noch ein gewöhnlich sehr starker Ausbruch von Schweiss. Die Wirkung tritt gewöhnlich sehr bald nach Einverleibung des Mittels ein, wie das aus den betreffenden oben *in extenso* angeführten Versuchen ohne Weiteres deutlich ersichtlich ist.

Die Patienten fühlten sich gewöhnlich einige Zeit, nachdem die Steigerung der Wärmeabgabe eingetreten ist, um vieles leichter und wohler, klagen speciell nicht mehr über das vorher bestandene intensive Hitzegefühl. Dass die erstmalige Anwendung der antifebrilen Mittel bei einem Kranken weitaus den stärksten Effect zu zeigen pflegt, während bei öfterer Anwendung derselbe gewöhnlich geringer wird, darf nicht Wunder nehmen, wenn man bedenkt, dass eben alle Organe des thierischen Organismus sich mehr oder weniger schnell an irgend welche Gifte oder andere wirksame Stoffe zu gewöhnen im Stande sind und sich gegen deren Wirkung abstumpfen. Auch der Umstand, dass ein Kranker weit besser auf Antipyretica reagirt, als ein anderer, birgt nichts Wunderbares in sich; denn auch hier kommt wieder die individuell verschieden grosse Erregbarkeit der Vasomotorencentra in Betracht.

Bezüglich der Wirkung kühler Bäder mit kalten Uebergiessungen und der hieraus zu ziehenden Schlussfolgerungen muss ich mir vorbehalten, an einem anderen Orte und in anderer Zeit mich auszusprechen, da ich bis jetzt zu einem endgiltigen Resultate noch nicht zu gelangen vermochte.

Ueberblicken wir nun noch einmal die ganze Anzahl aller physiolo-

gischen und pathologischen Versuche, welche in vorliegender Arbeit angestellt wurden, so sehen wir, was die ersteren anbelangt, dass die Ergebnisse derselben zumeist Alles, was bisher theils geschlossen, theils durch thermometrische Messungen festgestellt worden, als zutreffend erwiesen haben. Wir haben gesehen, welchen Einfluss auf die Wärme-Oekonomie des menschlichen Organismus die allgemeinen Verhältnisse wie: Alter, Grösse, Gewicht, Ernährungszustand, mehr oder weniger gut entwickelter Panniculus adiposus, Tageszeit u. s. w. ausüben; wir haben ferner gesehen, dass die Beschaffenheit des Ernährungszustandes, sowie die Entwickelung des Panniculus adiposus unter diesen allgemeinen Verhältnissen den grössten Einfluss besitzen.

Was die specielleren Verhältnisse angeht, so haben wir gezeigt, dass z. B. die Contraction der Muskeln eine sehr bedeutende Erhöhung der Wärmeproduction und der Wärmeabgabe zur Folge hat, und das hierin nächst der Oxydation der aufgenommenen Nahrungsstoffe sicherlich eine Hauptquelle für die Wärmeproduction des menschlichen Körpers zu suchen ist. Interessant war es auch, zu zeigen, wie regelmässig sich der Einfluss des Alkohols, und zwar um so mehr, je weniger die Versuchspersonen an den Genuss derselben gewöhnt schienen, zeigte; nicht weniger interessant war auch der klare Nachweis des Einflusses angestrengter geistiger Thätigkeit auf die Wärmeproduction. Von dem bis jetzt für sehr gering gehaltenen Einfluss innerlich genommen heissen Wassers, ohne jeden specifisch wirkenden Zusatz, hat es sich erwiesen, dass derselbe dem des Alkohols nahe kommt. Dagegen war dasselbe, äusserlich angewandt, wie es auch anders kaum zu erwarten war, von so geringfügigem Einflusse, dass derselbe sich mit unserem Apparate nicht nachweisen liess. Ganz ohne jeden Einfluss zeigte sich die Anwendung der Antipyretica (Antipyrin, Antifebrin) bei gesunden, fieberlosen Individuen, ein Ergebniss, wie es auch viele Andere, welche hierher zielende Versuche anstellten, gefunden haben.

Auffallend war die Thatsache, dass mechanische Arbeit (Hanteln) ausserhalb des Apparates, nicht nur keine Erhöhung der Wärmeabgabe im Gefolge hatte, sondern dass darauf sogar die Wärmeabgabe regelmässig eine geringere wurde, als vor der Arbeit. Doch habe ich mich ja an der betreffenden Stelle über diese auffallende Erscheinung schon hinreichend ausgesprochen. Noch auffallender war der Umstand, dass der linke Arm stets mehr Wärme abgab, als der rechte; ob dieser Umstand wirklich, wie man wohl behauptet hat, in der ungleichen Blutvertheilung auf der rechten und linken Körperhälfte, beruhend auf anatomischen Verschiedenheiten der die Arme mit Blut versorgenden Gefässe, zu suchen ist, das auseinander zu setzen, ist hier nicht der Ort.

Das Einreiben des Armes mit wenig perspirablen Stoffen, wie Vaseline, ergab mir stets eine Verminderung der Wärmeabgabe; doch darf man wohl

nicht diese Art der Einreibung mit der sonst gebräuchlichen Speckeinreibung bei fiebernden Kindern auf eine Stufe stellen, da bei der ersteren Anwendungsweise eine ziemlich bedeutende Schicht Fett auf dem Arme verbleibt und so vielleicht mechanisch die Wärmeabgabe theilweise hindert. Die Behandlung des Armes mit Senfspiritus erwies sich als sehr wenig wirksam. Schliesslich ergaben die Versuche mit Einathmung von Amylnitrit recht gute Resultate, nicht weniger gute diejenigen mit Verhinderung des venösen Abflusses mittels Aderlassbinde.

Es sind also die gefundenen Ergebnisse fast durchaus übereinstimmend mit den bisher von Anderen und auf andere Weise festgestellten. Der etwaige Werth und das Interesse der hier angestellten Untersuchungen liegt also nicht sowohl in der Neuheit der gefundenen Resultate, als vielmehr in deren relativer Genauigkeit, da dieselben vermittelst eines sehr zweckmässig construirten und ausserordentlich gut functionirenden Apparates calorimetrisch ermittelt wurden.

In zweiter Linie wurde eine Reihe pathologischer Versuche angestellt, welche sich wesentlich um die Frage über das Fieber drehten, woran sich dann eine Reihe anderer über die Wirkung der Antipyretica (Antipyrin, Antifebrin) und der Bäder reihten. Kurz zusammengefasst und in grossen Zügen gaben diese Untersuchungen folgendes Resultat.

Die Erhöhung der Eigentemperatur im Fieber beruht im Wesentlichen und in erster Linie auf der Einschränkung der Wärmeabgabe nach aussen. Wie diese zu Stande kommen muss, darüber ist im Vorhergehenden ausführlich gesprochen worden. In zweiter Linie kommt vielleicht noch eine erhöhte Wärmeproduction in Frage, deren Grund dann in dem gesteigerten Stoffumsatz zu suchen wäre. Doch ist darauf hingewiesen worden, dass vielleicht dieser gesteigerte Stoffumsatz erst eine Folge der durch das Fieber veränderten Circulationsbedingungen ist, und dass derselbe bezüglich der Temperaturerhöhung nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Eine verständige Fieberbehandlung muss also darauf bedacht sein, durch die Anwendung geeigneter Mittel die Wärmeabgabe des Kranken zu steigern. Und dies wird durch die sogenannten Antipyretica erreicht. So habe ich wenigstens von Antipyrin und Antifebrin nachgewiesen, dass deren Wirkung in der Steigerung der Wärmeabgabe besteht.

Ueber Bäder mit Uebergiessungen und deren Wirkung wird, wie schon oben gesagt, an anderer Stelle berichtet werden.

Zur Mechanik des Saugens und der Inspiration.

Von

Prof. Dr. Leopold Auerbach[1]
in Breslau.

I. Vorbemerkungen.

Die Fähigkeit, durch die Mundöffnung von aussen her Flüssigkeit an- und einzusaugen spielt ja in der Lebensweise des Menschen mehr noch als in derjenigen der übrigen Säuger eine bedeutende Rolle. Bald nach der Geburt nächst der Athmung als erste zweckmässig combinirte Thätigkeit animaler Muskeln in Wirksamkeit tretend, liefert sie ihm nicht nur im Säuglingsalter die einzige naturgemässe Art der Nahrungsaufnahme sondern auch weiterhin während seines ganzen Lebens das vorherrschende Mittel, dem Körper flüssige Nähr- und Reizstoffe zuzuführen, indem bei der menschlichen Art des Trinkens die Hineinbeförderung des Getränkes in die Mundhöhle regelmässig durch Saugthätigkeit bewerkstelligt wird.[2] Aber auch das Einsaugen gewisser gasförmiger Substanzen in die Mundhöhle ist in Form des Rauchens einem grossen Theile des Menschengeschlechtes Bedürfniss und tägliche Gewohnheit geworden. Eine weitere vielfache Anwendung ist dann noch das Saugen an Röhren bei mancherlei technischen Operationen.

---

[1] Einiges aus dieser Abhandlung bildete den Inhalt eines von mir am 22. September 1886 in der physiologischen Section der Berliner Naturforscherversammlung gehaltenen Vortrags. (S. *Tageblatt* dieser Versammlung. S. 201. — Ein etwas weniger knappes Referat findet sich in Nr. 80 der „*Deutschen Medicinalzeitung*“ vom 4. October 1886.)

[2] Dies gilt auch von manchen anderen Säugethieren, z. B. Affen, blutsaugenden Fledermäusen, Wiederkäuern, Einhufern, Dickhäutern, unter denen jedoch der Elephant das Wasser in seinen Rüssel einzieht, um es dann in die Mundhöhle hineinzublasen.

Demnach ist diese eigenartige motorische Leistung kein unwichtiges Object der Physiologie, etwa auf derselben Linie stehend mit den Vorgängen des Kauens und Schlingens, und wie diese der Erklärung bedürftig, eine Gleichberechtigung, die sich indessen nur wenig geltend gemacht hat.

Denn eine Umschau in der Litteratur ergiebt die Thatsache einer im Allgemeinen sehr geringen Berücksichtigung, ja oft gänzlichen Vernachlässigung der Frage, ein Missverhältniss, welches sich am Deutlichsten darin abspiegelt, dass die überwiegende Mehrzahl der seit sechzig Jahren bis auf den heutigen Tag erschienenen Gesammtdarstellungen der Physiologie, und darunter gerade viele hervorragende oder sonst sehr ausführliche den Vorgang des Saugens überhaupt gar nicht berühren,[1] und dass auch in den übrigen meistens der Gegenstand nur mit einigen flüchtigen Worten gestreift wird. Noch weniger hat sich die Anatomie berufen gefühlt, auf die Sache einzugehen, und auch die grossen, lexikalisch gehaltenen Encyklopädien der Medicin weisen dieselbe Lücke auf.[2] Als eine Ursache dieser Zurücksetzung scheint sich namentlich die folgende darzubieten. Insofern es nämlich in dem neueren Entwickelungsgange der Wissenschaft lag, vorzugsweise nur positiv Begründetes zu berücksichtigen, und indem für die Besprechung in zusammenfassenden Werken in der Regel nur vorliegende empirische Specialarbeiten bestimmend waren, so fehlte es eben hinsichtlich des Saugens an dieser Grundlage und Anregung bis vor nicht sehr langer Zeit gänzlich, obwohl einige ohne nähere Begründung hingeworfene Meinungen vielfach ausgesprochen waren. Nächst Hales,[3] der einmal bei Gelegenheit pflanzenphysiologischer Studien auch die Kraft, mit der ein Mann mit dem Munde zu saugen vermochte, hydrostatisch bestimmte, hat, so viel ich weiss zuerst Poncet[4] gegen das Jahr 1860 eine den Mechanismus dieses Vorgangs betreffende experimentale Untersuchung angestellt, eine Arbeit welche jedoch in Deutschland unbekannt, wenigstens unbeachtet geblieben ist und auch mir unzugänglich war. Sodann hat im Jahre 1875 Donders[5] einen verdienstlichen Beitrag zur Sache geliefert und ausserdem Vierordt[6] im

---

[1] So ist es z. B. in den betreffenden Werken von Magendie, Joh. Müller, Valentin, Ludwig, Brücke, Budge, Wundt, L. Hermann (*Grundriss*) u. A. m.

[2] Wie Todd's *Cyclopaedia of Anatomy and Physiology*, das *Nouveau Dictionnaire de Médecine et de Chirurgie*, herausgegeben von Jaccoud und die von Eulenburg redigirte *Real-Encyclopaedie der Medicin.*

[3] Hales, citirt von Hutchinson, Art. Thorax in Todd's *Cyclopaedia.* IV. p. 1060.

[4] Poncet, citirt bei Milne Edwards, *Leçons sur l'Anatomie et la Physiologie comparée etc.* 1860. t. VI. p. 96.

[5] Donders, Ueber den Mechanismus des Saugens. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. X.

[6] Vierordt, Physiologie des Kindesalters in Gerhardt's *Handbuch der Kinderkrankheiten,* Tübingen 1881. 2. Aufl. Bd. I. S. 337.

Jahre 1881 in einigen seiner „Physiologie des Kindesalters“ eingeflochtenen Bemerkungen das Resultat seiner Beobachtungen an Säuglingen bekannt gegeben. Aber auch diese Mittheilungen, auf die ich noch zurückkommen werde, streifen nur einzelne Punkte der Frage und sind zum Theil sehr discussionsfähig; auch haben sie auf die spätere Litteratur nur ausnahmsweise Einfluss ausgeübt.

Vielleicht aber ist die Action des Saugens etwas so Einfaches und Alles daran so selbstverständlich, dass deshalb ein häufigeres und gründlicheres Eingehen auf dieselbe unnöthig war? Aus manchen naheliegenden Gründen kann es so scheinen. Dennoch zeigt in diesem Punkte eine vergleichende Durchsicht der Fachlitteratur zunächst mindestens so viel, dass nichts weniger als Einhelligkeit, vielmehr geradezu Verwirrung herrscht. So wenig zahlreich auch verhältnissmässig die vorliegenden Aeusserungen sind, so bieten sie gleichwohl eine erhebliche Vielgestaltigkeit dar. Zwar über das physikaliche Princip des Vorgangs, nämlich Verdünnung der Mundhöhlenluft und Gegenwirkung des atmosphaerischen Druckes, ist ja längst, wenigstens seit den Zeiten Haller's, kein Zweifel mehr; betreffs der Formveränderungen hingegen und der Muskelactionen, durch welche der negative Druck in der Mundhöhle erzeugt wird, haben sich mannigfache und zum Theil widersprechende Vorstellungen, wie sie im Laufe der Jahrhunderte successive entstanden, bis heutigen Tages nebeneinander erhalten, ohne sich über ihre absolute oder relative Berechtigung ernstlich auseinanderzusetzen, bald isolirt und exclusiv auftretend, bald zu einigen locker zusammengestellt, bald auch zu irgend einem Gesammtausdrucke von bedenklicher Complexion verbunden.[1] Wenn nun auch von vorn herein die Möglichkeit zugestanden werden soll, dass mehrere unter sich verschiedene Mechanismen des Saugens existiren, so dürfte doch einerseits um so weniger einer derselben als ausschliesslich giltig hingestellt werden, und würde es andererseits nothwendig, den Geltungsbereich der einzelnen, so wie auch ihre etwaige Combinirbarkeit festzustellen. Indessen ist ja auch nicht vorauszusetzen, dass alle hervorgetretenen Ansichten überhaupt ihre Rolle weiter spielen müssen. Es sollten nach eingehender Prüfung diejenigen immer wieder auftauchenden Vorstellungen, die sich etwa als ganz unhaltbar erweisen, als solche genügend gekennzeichnet und damit,

---

[1] Beispiele der letzteren Art finden sich auch in neueren Schriften; hier sei nur eines aus einem älteren Werke angeführt: In Burdach, *Die Physiologie als Erfahrungswissenschaft.* Leipzig 1840, heisst es in Bd. VI, S. 151: „Die Mammalien saugen durch gemeinsame Wirkung von Lippen, Backenmuskeln und Zunge unter Beihülfe des Einathmens“ und ferner S. 152: „Beim menschlichen Trinken wird die Zunge zurückgezogen und eine Einathmungsbewegung gemacht.“ Vergleiche auch einige später beizubringende Citate.

wenn möglich, definitiv eliminirt werden. Ausserdem aber hoffe ich zeigen zu können, dass der gewöhnliche Hergang beim Saugen mit dem Munde sich doch etwas anders gestaltet, als es den darüber verbreiteten Vorstellungen entsprechen würde, und dass gewisse andere Formen dieser Thätigkeit beachtenswerthe Beziehungen zur Mechanik der Respiration darbieten. Es sollen sich also an die oben bezeichnete, sehr nothwendige kritische Prüfung und Sichtung in dem Folgenden einige Reihen positiver Beobachtungen zur Sache anschliessen. Ich werde dabei so verfahren, dass ich die verschiedenen, wirklichen oder angeblichen Mechanismen des Saugens einzeln bespreche und meine eigenen Ermittelungen theils an passenden Stellen einflechte, theils in besonderen Abschnitten darlege. In der Anordnung des Stoffs werde ich im Allgemeinen die historische Reihenfolge inne halten, mit wenigen durch Rücksicht auf die Darstellung veranlassten Ausnahmen.

II. Vermeintliche und wirkliche Function der Wangen.

Hiernach muss ich mit Besprechung einer Ansicht beginnen, die so Mancher vielleicht für längst abgethan halten wird, die dies aber doch nicht so ganz ist, wie sowohl die Litteratur als auch sachliche Erwägungen zeigen. Ueberdies ist die Geschichte dieser Meinung gewissermaassen psychologisch merkwürdig. Letztere muss auch deshalb vorweg geprüft werden, weil die Erscheinungen, auf welchen sie fusst, sich bei jeder Art des Saugens ereignen können.

Ich meine die Annahme, dass die Wangen Saugorgane seien, und dass besonders der Buccinator eine Function beim Saugen habe. Mit wunderbarer Zähigkeit, den Fortschritten der Wissenschaft durch einige Variationen sich anpassend, hat diese Vorstellung durch Jahrhunderte bis auf den heutigen Tag sich erhalten. Denn nicht bloss in mündlicher Aussprache giebt sie sich noch häufig genug kund, sondern hat auch in mehreren Publicationen der letzten Jahre wieder Lebenszeichen von sich gegeben.[1]

---

[1] Dass auch ein Ausspruch Kronecker's (Die Schluckbewegung. *Deutsche medicinische Wochenschrift*, 1884, Nr. 16—26, S. 8 des Sonderabdr.), dahin lautend: „Meist aber geschieht das Saugen, wenn es von der Zungenbewegung unabhängig ist, durch Erweiterung der Wandungen der Mundhöhle," in demselben Sinne gemeint, nämlich auf die Wangen zu beziehen sei, möchte ich nicht annehmen; er könnte aber leicht so aufgefasst werden. Hingegen ist sehr deutlich folgende Stelle in I. Munk's *Physiologie des Menschen und der Säugethiere.* Berlin 1881. S. 191: „So führt der Mensch die verengte Mundspalte an den Rand des mit Flüssigkeit gefüllten Gefässes und saugt letztere mit Lippen und Backen an." Andere eine ähnliche Anschauung verrathende Stellen aus praktisch-medicinischen Ab-

Sehen wir deshalb genauer zu, worauf dieselbe sich gründen kann, und ob etwas von Werth in ihr enthalten ist.

Entstanden ist sie aus den irrigen Deutungen zweier an sich diametral entgegengesetzter Thatsachen. Die eine betrifft die Aufblähung der Wangen beim Blasen, eine Formveränderung, welche in alter Zeit als eine active, durch die Backenmuskeln bewirkte angesehen wurde. Namentlich war es eben der Buccinator, welchem einige Anatomen des 16. Jahrhunderts die Fähigkeit zuschrieben, eine Auswärtsbewegung und Ausdehnung der Wangen zu bewirken.[1] Wie ernst das gemeint war und wie hartnäckig sich diese Vorstellung in vielen Köpfen erhalten haben muss, geht daraus hervor, dass nachdem schon im 17. und der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts mehrere angesehene Autoren jene Ansicht ausführlich bestritten hatten,[2] viel später noch Haller es für nöthig fand, der Fortdauer jenes Missverständnisses vorzubeugen,[3] ja sogar noch Henle sich von Neuem veranlasst sah, demselben ausdrücklich entgegenzutreten.[4] Insoweit aber jene irrige Anschauung herrschte, konnte sich auf dieser Grundlage folgerichtig auch die Ansicht von einer Saugthätigkeit des Buccinator durch Erweiterung der Mundhöhle entwickeln und mit jener so lange andauern, dass eben noch heute die Nachwirkungen bemerkbar sind.

Inzwischen hatte jedoch die Neigung, die Backenmuskeln für die Theorie des Saugens zu verwerthen, noch von einer anderen Richtung her eine neue Anregung empfangen. Man glaubte in einer der obigen gerade entgegengesetzten Thatsache einen Anhalt zu finden, nämlich in der beim Saugen nicht selten eintretenden grubenförmigen Einbuchtung der Wangen, welche allerdings ihrer Lage nach der vorderen Ausbreitung des Buccinator entspricht. Diese Erscheinung hielt man vielfach wieder für eine active, durch den genannten Muskel bewirkte Formveränderung und sah nun wunderlicher Weise in dieser vermeintlichen Thätigkeit des Buccinator ein Hülfsmittel des Saugens, obwohl es doch auf der Hand lag, dass

---

handlungen hier anzuführen würde zu viel Raum erfordern. Erwähnen will ich nur noch, dass auch H. Ranke in seiner Abhandlung: „Ein Saugpolster der menschlichen Wange" (Virchow's *Archiv* u. s. w. Bd. XCVII) mehrfach von einer Function des Buccinators beim Saugen spricht, freilich in einem modificirten Sinne, über den ich mich bald noch näher aussprechen werde.

[1] Columbus, *De re anatomica.* Venedig 1559. p. 122. — Andr. Laurentii *Historia anatomica.* Frankfurt 1600. p. 135.

[2] Adr. Spigelii *De humani corporis fabrica.* 1627. p. 100. — Santorini, *Observationes anat.* Venedig 1724. p. 33.

[3] Haller, *Elementa Physiologiae etc.* t. VI. p. 37: „Buccinator non quod inflet buccas sed quod inflatas deprimat."

[4] Henle, *Handbuch der Muskellehre.* 1858. S. 159.

eine Verengerung des Mundraumes den Saugact nicht fördern sondern nur abschwächen kann.

Wahrscheinlich um gegen diesen nahe liegenden Einwand die alte Meinung zu retten, wurde übrigens einmal, nämlich von Soemmering,[1] noch eine ganz absonderliche Erklärung hinzugefügt, dahin gehend, der nach innen ausgeübte Muskeldruck vermöge die Luft der Mundhöhle nicht bloss nach vorn sondern andere Male auch „hinterwärts“ zu treiben und durch diese Luftströmung das Saugen zu vermitteln. In der That gelingt es bei fest geschlossenem Munde, namentlich nach vorherigem Aufblasen der Backen, durch Zusammenziehung der letzteren die Luft nach hinten in den Rachen zu jagen, was mit einem am Gaumensegel entstehenden Geräusche verbunden ist; allein dies kann natürlich zu keiner Saugwirkung führen, da ja der gesteigerte innere Luftdruck auch nach vorn hin wirkt und einen etwa zwischen den Lippen befindlichen Körper wegblasen und nicht ansaugen würde.

Thatsächlich ist nun, wie bekannt, die Einbuchtung der Wangen überhaupt keine active, sondern eine ganz passive Formveränderung, nämlich eine durch den überwiegenden äusseren Luftdruck bewirkte Einstülpung. Dies lässt sich, so zu sagen, unmittelbar empfinden, und man hat wohl deshalb eine objective Begründung nicht für nöthig gehalten. Es wird aber doch, nicht bloss um dieser willen, sondern auch wegen weiter sich ergebender Anknüpfungen gut sein, die beweisenden Thatsachen einmal hervorzuheben, und diese liegen in Folgendem. Bei auch nur einiger Aufmerksamkeit stellt sich leicht heraus, dass die Einsenkung der Wangen keine nothwendige Begleiterscheinung des Saugens ist, und dass sie ausserdem um so geringer ausfällt, je schneller beim Saugen die Luftverdünnung in der Mundhöhle schon während ihres Entstehens wieder ausgeglichen wird; denn sie bleibt aus, wenn dabei reichlich gasförmige oder tropfbare Flüssigkeit durch die Mundöffnung einströmen kann, ist mässig, wenn dieser Zweck nur langsam und mit Schwierigkeit erreicht wird, am stärksten aber, wenn er ganz verhindert ist, z. B. wenn bei geschlossenem Munde eine Sauganstrengung gemacht wird, und verschwindet in letzterem Falle sofort, wenn die Lippen ein wenig geöffnet werden, so dass äussere Luft eindringen kann. Sie steht also zu dem erzielten Saugeffect in umgekehrtem Verhältniss, wächst hingegen mit dem Grade der wirklich in der Mundhöhle sich ausbildenden Luftverdünnung, durch die sie mit physikalischer Nothwendigkeit hervorgerufen werden muss. Sie ist demnach eine Wirkung und nicht ein Factor des Saugens.

---

[1] Soemmering, *Vom Baue des menschlichen Körpers.* 1791. Bd. II. S. 83.

Eine Nebenbedingung ihres Entstehens ist noch die, dass der Unterkiefer einigermaassen gesenkt ist, weil sonst die Mauer der Zähne und die Zunge das Einstülpen der Wangen verhindern.

Dem möchte ich jedoch noch hinzufügen — und es ist dies für die Beurtheilung einschlägiger Versuche nöthig — dass eine Grube in den Wangen von solcher Trichterform überhaupt nur auf die eben bezeichnete Art und nur beim Saugen, niemals aber durch Contraction irgend welcher Backenmuskeln, auch nicht des Buccinator sich bildet, wie Manche meinen. Es wird sich das bald zeigen, da ich auf die specielle Wirkungsweise des letztgenannten Muskels näher einzugehen noch eine besondere Veranlassung habe.

Es ist nämlich noch eine dritte Gestalt zu erwähnen, welche die traditionelle Lehre neuerdings angenommen hat. Diese lautet dahin, der Buccinator habe die Aufgabe, die Wange während des Saugacts zu stützen und zu verhindern, dass dieselbe zu tief nach innen und zwischen die Zähne gedrängt werde. In dieser Weise ist sie von H. Ranke in seiner obenerwähnten Abhandlung angenommen und dabei wie als etwas ganz Bekanntes und Selbstverständliches vorausgesetzt worden. Aber auch in dieser Form ist sie nicht haltbar, und zwar erstens, weil der Buccinator in Contraction einen Uebelstand, ähnlich demjenigen, den er angeblich verhindern soll, vielmehr auf seine Art selbst herbeiführen würde, und zweitens weil sich nachweisen lässt, dass er sich beim Saugen überhaupt nicht contrahirt.

In ersterer Hinsicht ist Folgendes zu bemerken. Schon die alten Anatomen nahmen mit Recht an, dass dieser Muskel im Stande sei, Speisetheile, die in den Raum zwischen den Wangen und den Zähnen gerathen sind, wieder nach innen zu schieben. Es lässt sich aber leicht constatiren, dass er dies nicht bloss an der vorher aufgetriebenen Wange und bis zum elastischen Gleichgewichtszustande derselben, sondern darüber hinaus leistet, und dass auch von der schlaffen Ruhelage der Wange ausgehend durch die Thätigkeit des Muskels ein nach innen vorspringender und eventuell zwischen die Zähne eindringender Wulst gebildet wird. Man kann sich hiervon zunächst durch locale Faradisirung, die am besten von der inneren Wangenfläche aus vorgenommen wird, überzeugen. Die Specialschriften der Elektro-Therapeuten geben, so viel ich finde, immer nur ein Anpressen der Wange an die Zähne an; und dies ist ja bei Faradisirung von aussen und bei aneinander geschlossenen Zahnreihen ganz richtig; bei einem gewissen Abstande der letzteren jedoch findet man durch Betasten von innen eine der Ausdehnung des contrahirten Muskels entsprechende convexe Anschwellung. Und ganz dasselbe ist noch bequemer durch Willenseinfluss auf den Muskel zu erzielen, auch bei offenem Munde, wobei es gleichgiltig ist, ob die Intention auf Hineindrängen der Wange oder auf Zurückziehen

des entsprechenden Mundwinkels gerichtet ist, da beide Wirkungen unzertrennlich verbunden sind. Während nun innen ein stark vorspringender Hügel zu erkennen ist, lässt sich äusserlich wohl öfters eine stärkere Markirung der Lachfalte, niemals hingegen eine trichterförmige Vertiefung, ähnlich der beim Saugen entstehenden, beobachten,[1] vielmehr sogar gewöhnlich eine leichte Auftreibung. Dieses Verhalten ist leicht erklärlich durch die mit der Contraction verbundene Dickenanschwellung des Muskels, welche in noch viel stärkerem Maasse nach innen hervortritt und hier eben den Wulst auftreibt.

Beiläufig bemerkt ist mit dieser Bewegung eine erhebliche Entwickelung mechanischer Kraft in der Querrichtung der Muskelfasern verbunden. Denn wenn man einen Finger innen anlegt, ohne die Wange nach aussen zu stülpen, und nun den Buccinator contrahirt, so wird durch diesen der Finger, selbst wenn man einen gewissen Widerstand leistet, 1—2 ^{cm} weit nach innen geschoben, und während der Fortdauer der Contraction gelingt es nur mit ganz beträchtlichem Kraftaufwande, die innere Hervorragung der Wange zurückzudrücken.[2] Dieser mechanische Effect wird eben gelegentlich beim Kauen verwerthet.[3]

Es wäre also zur Vermeidung des Eindringens von Wangensubstanz zwischen die Zähne die Thätigkeit des Buccinator ein zweckwidriges Mittel. Dass aber thatsächlich beim Saugen dieser Muskel in Ruhe bleibt, geht aus

---

[1] In einigen von v. Ziemssen publicirten Abbildungen zeigt sich zwar an der von aussen auf die Gegend des Buccinators aufgesetzten Elektrode eine grubenförmige Vertiefung der Wange, was leicht den Anschein erwecken kann, als sei diese auch eine Folge der elektrischen Erregung. Sie ist jedoch sicher nur ein mechanischer Effect der tief eingedrückten Elektrode, wie denn auch der erklärende Text von einer solchen Wirkung der Erregung des Muskels nichts erwähnt.

[2] Hierin liegt auch ein unterscheidendes Merkmal dieses Wulstes von der beim Saugen entstehenden Einstülpung, die sich sehr leicht zurückschieben und umstülpen lässt.

[3] Eine auf die Faserrichtung senkrechte Wirkung kommt ja noch einigen anderen der Willkür unterworfenen Muskeln zu, und zwar solchen, die Hohlräume begrenzen, so als Druckwirkung bei den Bauchmuskeln und einigen Sphinkteren, als Druck- und Zugwirkung beim Zwerchfell. In diesen und anderen ähnlichen Fällen jedoch ist es die Verkürzung an sich, welche, da sie bogenförmig verlaufende Fasern betrifft, durch deren Annäherung an die gradlinige Form die mechanische Leistung hervorbringt. Hingegen ist wohl die oben erwähnte Verwerthung der Dickenanschwellung zu einer mechanischen Leistung im Gebiete der animalen Muskeln sehr selten, vielleicht indess auch bei gewissen Verrichtungen der Zunge, z. B. beim Schlingen mit im Spiele. Viel öfter aber dürfte das erwähnte Moment in der Musculatur der vegetativen und Circulationsorgane mitwirken und namentlich in hohem Maasse bei der Arbeitsleistung des Herzens in Betracht zu ziehen sein. — Es möchte sich von einem allgemeinen Gesichtspunkte aus wohl lohnen, messende Versuche über die von den Muskeln bei der Verkürzung in transversaler Richtung entwickelte Kraft anzustellen.

Folgendem hervor. In Action ist er nämlich, wie Ranke richtig voraussetzt, wirklich im Stande, der vom Luftdruck abhängigen Einstülpung zu widerstehen, was ich durch folgende Beobachtung bestätigt finde. Wenn man bei geschlossenen Lippen und der für die Grubenbildung nöthigen Senkung des Unterkiefers beide Buccinatoren auch nur mässig in Thätigkeit setzt und zugleich eine Sauganstrengung hinzufügt, so bleibt in der That während dieser unnatürlichen Combination die äusserliche Abflachung und Vertiefung aus. Nun ist aber von einer solchen Hemmung beim gewöhnlichen naturgemässen Saugen nicht das Geringste zu bemerken; denn schon eine sehr schwache Saugbewegung genügt, um ein Einsinken der Wange zu veranlassen, und eine starke macht, dass sie tief zwischen die Zähne hineingezogen wird. Also kann der Muskel dabei nicht in Thätigkeit sein.

Seine Mitwirkung wäre auch dadurch sehr störend, dass er ja die Mundwinkel zurück- und die Mundöffnung breit zieht, während doch zur Umfassung des Saugobjectes ein Vorstrecken der Lippen und eine rundlich enge Gestaltung der Mundöffnung gehören.

In keiner Weise also agirt der Buccinator beim Saugen, und es wäre endlich Zeit, ihn bei der Erklärung dieses Vorganges gänzlich bei Seite zu lassen.

Die mechanische Erklärung der an den Backen eintretenden Veränderung schliesst indess nicht die Frage aus, ob dies nur eine gleichgiltige Nebenerscheinung sei, oder ob ihr irgend eine, sei es schädliche oder nützliche Wirkung zukomme. In dieser Beziehung ist nun zwar darüber kein Zweifel möglich, dass der Saugact selbst dadurch nicht unterstützt, sondern nur abgeschwächt werden kann. Gleichwohl glaube ich sie als etwas dem Organismus Nützliches ansehen zu müssen. Da nämlich, wie oben nachgewiesen wurde, die Einstülpung der Wangen nur in dem Maasse erfolgt, als die Sauganstrengung vergeblich ist, so kann jene als ein regulatorischer Vorgang betrachtet werden, der einer übermässigen Verdünnung der Mundhöhlenluft vorbeugt und damit ihre Schleimhaut vor Schädigung bewahrt. Eine zu hohe Luftverdünnung wäre nämlich geeignet, bei anhaltenden und schwierigen oder ganz fruchtlosen Bemühungen zu saugen — man denke nur an die oft so mühsamen und vergeblichen Anstrengungen der Säuglinge — in der Schleimhaut der Mundhöhle eine passive Hyperaemie hervorzurufen, ähnlich wie dies sogar an der weniger gefässreichen und derben äusseren Haut unter einem trockenen Schröpfkopfe geschieht. Unter einem solchen, wie er gewöhnlich gehandhabt wird, dürfte nach einigen von mir angestellten Beobachtungen der negative Druck kaum je den Werth von 100 mm Hg ererreichen, während der Mund-Saugapparat eines Mannes sehr leicht das

Gleiche und unter Umständen das siebenfache leistet. Und wären selbst die Folgen nicht mit einem Male hochgradig, so würden sie doch bei öfterer Wiederholung immerhin nicht gleichgiltig sein. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet haben die Wangen allerdings eine Function beim Saugen, indem sie gleichsam wie umgekehrte Sicherheitsventile wirken.

Die Fähigkeit hierzu verdanken sie aber gerade ihrer Biegsamkeit und Dehnbarkeit, welche selbst mässig fetten Backen an der Stelle, auf die es ankommt, in der Regel genügend erhalten ist. Wenn hingegen in einzelnen Fällen, sei es an dem Punkte, den H. Ranke hervorgehoben hat, sei es in grösserer Ausdehnung, sehr dickes und derbes Fettgewebe die Wangen derart steift, dass ihre Einstülpung erschwert oder ganz verhindert wird, so ist es sehr fraglich, ob dies eine vortheilhafte individuelle Eigenthümlichkeit sei. Freilich wird dann von anderen Punkten her theilweise Ersatz geleistet werden. Denn auch das Gaumensegel kann durch den Druck der Rachenluft in gewissem Grade in die Mundhöhle hinein vorgewölbt werden, und wir werden später sehen, dass unter Umständen sogar Theile der Zunge in den beim Saugen erzeugten leeren Raum durch den äusseren Luftdruck hineingepresst werden.

III. Inspiratorisches Saugen.

Anders hingegen steht es mit einer zweiten älteren Theorie, nämlich derjenigen, dass das Saugen mittelst Inspiration, also durch Erweiterung des Brustraumes bewerkstelligt werde. Diese im vorigen Jahrhundert von Sturm und Haller[1] ausgesprochene und ohne Weiteres als alleingiltig aufgestellte Ansicht behauptete sich dann lange Zeit hindurch in viel verbreiteter Geltung. In unserer Zeit ist sie im Ganzen in den Hintergrund getreten und erfährt im Uebrigen eine sehr wechselnde Behandlung, die sich in widersprechenden Extremen bewegt. Während sie nämlich von den Meisten gänzlich verlassen ist und zwar in der Regel einfach ignorirt, zuweilen auch ausdrücklich und schlechthin verworfen wird, findet sich hier und da auch jetzt noch gerade als das gewöhnliche Mittel des Saugens eine inspiratorische Thoraxbewegung bezeichnet und diese Vorstellung sogar auf das menschliche Trinken angewandt,[2] zwei diametral entgegengesetzte Ansichten, die sicherlich beide, jede in ihrer Art, verfehlt sind.

Denn einer so einfach negativen Abfertigung, wie sie der inspiratorischen Theorie meist zu Theil wird, widerspricht in ausgiebigster Weise

[1] Haller, *Elementa Physiologiae etc.* t. III. p. 296.

[2] Beispiele für diese verschiedene Behandlung ergeben sich aus der Vergleichung der Lehrbücher, auch derjenigen der letzten Jahre.

zunächst eine Thatsache, welche allerdings von physiologischer Seite bisher kaum irgendwo beachtet worden ist, aber sehr berücksichtigt und erwähnt zu werden verdient, nämlich die Art, wie in mehreren sehr verbreiteten Gewerben mit dem Saugheber operirt wird. Ohne Weiteres ist zunächst leicht zu sehen, dass die Küfer, wenn sie mit einem solchen Instrumente von grösseren Dimensionen einem Fasse Flüssigkeit entnehmen, mit einem Zuge eine erstaunliche Quantität des Fluidums in die Höhe saugen, nämlich bis zu 2 Liter und darüber, ein Volumen, das ja die Capacität der Lungen noch bei Weitem nicht erschöpft, hingegen diejenige der Mundhöhle um das 24- bis 30fache übertrifft. Letzterer Umstand ist zwar an sich nicht ganz für den inspiratorischen Modus entscheidend, insofern man an eine versteckte Summirung der Effecte zahlreicher, rasch sich folgender Einzelacte eines andersartigen Saugens denken könnte. Immerhin ist die Erscheinung auffallend und war für mich zu einer eingehenderen Untersuchung bestimmend, über welche einiges Nähere mitzutheilen um so mehr angebracht sein dürfte, als sie auch für die Beurtheilung der Kraft der Athmungswerkzeuge lehrreich ist.

Die gebräuchlichen, in neuerer Zeit fast immer von Glas gefertigten Saugheber sind Pipetten grossen Maassstabes. Es giebt deren zwei Abarten, kleinere, im engeren Sinne Stechheber genannte, von ca. 58 ^{cm} Länge und im Ganzen schlank konischer Form, nur etwa 300 ^{ccm} fassend, und grosse als Kugelheber, zuweilen auch als Kropfheber bezeichnete von 70—80 ^{cm} Länge. Diese letzteren bestehen aus einer unteren, ca. 40 ^{cm} langen, geraden, nur ganz schwach konischen Röhre, die nach oben hin in ein trompetenförmig erweitertes Halsstück übergeht und über diesem zu einer grossen Hohlkugel von 14—16 ^{cm} Durchmesser und 1600—1800 ^{ccm} Rauminhalt aufgeblasen ist, auf welcher noch ein kurzes Stück Röhre als Mundstück aufsitzt, so dass sie im Ganzen 1·7 bis über 2 Liter Flüssigkeit aufzunehmen vermögen. Beim Gebrauche werden sie annähernd senkrecht eingetaucht und durch Saugen am oberen Ende die Flüssigkeit zum Aufsteigen gebracht, derart, dass diese eventuell den ganzen Raum der grossen Hohlkugel füllt. Es mag nun die nächstliegende Vorstellung sein und wird wirklich selbst von solchen Personen, die das Verfahren oft genug mit angesehen haben, geglaubt, dass an diesen Kugelhebern gerade so, wie wir es bei Benutzung kleiner Pipetten zu thun pflegen, „mit der Zunge“ gesaugt werde. Die ausübenden Individuen selbst aber sind sich eines anderen Sachverhalts wohl bewusst. Von mehreren solchen erhielt ich auf meine Erkundigungen Antworten, welche übereinstimmend auf Athembewegungen hinwiesen, und eine Beobachtung derselben am Orte ihrer Thätigkeit schien dies schon genügend zu bestätigen. Um jedoch hierin ganz sicher zu gehen und die Einzelheiten des Vorgangs genauer wahrzunehmen, was nur am

entkleideten Oberkörper möglich ist, sowie auch um einige bezügliche Messungen anstellen zu können, unterzog ich mehrere auf diese Arbeit eingeübte Personen speciellen Beobachtungen in meinem Laboratorium, zu welchen ich zunächst einen grossen Kugelheber, später aber ein eigens construirtes, für Maassbestimmungen besser geeignetes Instrument benutzte und die Bedingungen der Einzelversuche in mehrfacher Weise variirte.

Dabei erwies es sich zuvörderst als ganz richtig, dass der Effect in der Hauptsache durch active Erweiterung des Brustraumes bewirkt wird. Mit dem ersten Momente des Saugens beginnt eine langsame und allmählich immer mühsamer werdende Inspirationsbewegung, durch welche in 7 bis 10 Secunden das Wasser in die obere Hälfte der Kugel hinauf und eventuell nach Füllung der letzteren auch noch durch das 8 ^{cm} hohe Ansatzstück bis in die Mundhöhle hinein gezogen wird. Der Aufstieg durch die untere Röhre und selbst in einen untersten Abschnitt der Kugel hinein ist meist in der ersten Secunde vollendet und damit ca. $^1/_2$ Liter gehoben, worauf der so viel grössere übrige Theil der Zeit zur Füllung der Kugel verbraucht wird. Da nämlich mit dem Ansteigen der Wassersäule auch die Schwierigkeit ihrer weiteren Ueberwindung immer grösser wird, und da überdies in der Halsgegend der Röhre und noch mehr in der unteren Hälfte der Kugel der Querschnitt des Gefässes rasch wächst, so erfolgt das Ansteigen überhaupt mit abnehmender Geschwindigkeit und namentlich in der genannten Strecke mit progressiver Verlangsamung. Im letzten Momente jedoch, bei dem Uebergange aus dem Kugelraume in das enge Mundstück bewirkt zuweilen die vorhandene äusserste Muskelanstrengung ein beschleunigtes, fast plötzliches Aufsteigen des Wassers in den Mund der Versuchsperson.

Der motorische Mechanismus selbst zeigt sich bei zweien der untersuchten Männer (A. und B.) in vollkommener Weise aus thoracischer und abdomineller Inspiration combinirt, so jedoch, dass die Hervortreibung der Bauchwand schon innerhalb der ersten zwei Secunden ihr Maximum erreicht, auf dem sie verweilt, während die weitere Steigerung des Effects allein von den Hebern des Thorax und der Rippen übernommen wird. Gegen das Ende dieses zweiten Zeitraumes ist wohl zuweilen in Folge der ausgiebigen Erweiterung des unteren Thoraxrandes ein leichtes Wiedereinsinken des Epigastriums zu bemerken, die gesammte übrige Bauchwand jedoch kehrt erst nach Aufhören der inspiratorischen Sauganstrengung aus ihrer gewölbten und gespannten Form zur exspiratorischen Ruhestellung zurück. Dem gegenüber wird bei der dritten Versuchsperson (C.), die bei ruhigem Athmen ganz normale Verhältnisse aufweist, sofort mit Beginn des Saugacts die Bauchwand eingezogen und dies weiterhin immer stärker, worauf sie sich erst in der folgenden Esxpiration wieder vorwölbt, eine Umkehrung

der normalen respiratorischen Bauchbewegung, wie sie auch sonst bei willkürlich forcirter Inspiration sehr häufig, ja sogar an der Mehrzahl gesunder Menschen zu beobachten ist. Auch noch ein anderer Küfer, der sich zur genaueren Beobachtung nicht einfand, hatte mir als Ergebniss seiner Selbstbeobachtung angegeben, die Hauptsache sei eine Einziehung des Bauches, eine wunderliche Aeusserung, welche sich indess aus dem eben Erwähnten genügend erklärt. Bei dem Individuum C., das ich auch mittels Percussion während des Saugens untersuchte, glaube ich zur Erklärung des erwähnten Verhaltens eine mangelhafte Mitwirkung des Zwerchfells bei diesem willkürlich bewerkstelligten Einathmungsverfahren mit in Anspruch nehmen zu müssen,[1] und damit stimmt es auch, dass die Leistungen von

---

[1] Die oben berührte, alltägliche und dennoch paradoxe, weil mit dem Zwecke der Athembewegung nicht harmonirende Erscheinung, dass eine kräftige Inspiration auch an ganz gesunden Individuen mit Einziehung der Bauchwand verbunden ist, wird, wo sie überhaupt Beachtung findet, jetzt immer durch die Annahme erklärt, die Hebung der unteren Rippen schaffe so viel Raum in den Hypochondrien, dass die durch den Druck des Zwerchfells verdrängten Eingeweide denselben nicht auszufüllen vermögen. Dass nun ein solcher Raumdefect veranlasst und durch den Druck der Luft auf das bewegliche Abdomen wieder ausgeglichen wird, ist ja nicht zu bezweifeln; fraglich hingegen kann es erscheinen, ob dieser Vorgang trotz normaler Abflachung des Zwerchfelles erfolge, wie man anzunehmen pflegt. Schon Hutchinson (Todd's *Cyclopaedia*, Art. Thorax, S. 1081) hat in diesem Punkte Zweifel ausgesprochen. Nach meinen Ermittelungen dürfte jene Voraussetzung nicht durchaus zutreffend, überhaupt die ganze Sache nicht so einfach sein. Es müssen in dieser Frage meines Erachtens noch folgende, innerhalb der Breite der Gesundheit individuell verschiedene Bedingungen in Betracht gezogen werden, nämlich erstens das Maass der Ausdehnbarkeit der Lungen im Verhältniss zu demjenigen des Brustraumes, ein Verhältniss, das eben sehr häufig zu Ungunsten der ersteren ausfällt, also in diesem Sinne eine relative Insufficienz der Lungen darstellt, welche einer gleichzeitigen Maximalbewegung des Zwerchfells und der Thoraxwandung, ja sogar der letzteren allein nicht zu folgen vermögen, — zweitens eine relative Schwäche des dünnen Zwerchfellmuskels im Vergleich zu den in's Gesammt viel mächtigeren Hebern und Erweiterern des Thorax, — drittens aber, insofern es sich um willkürliche Athmung handelt, eine gewisse, trotz gegentheiliger Behauptungen (s. z. B. Ludwig's *Lehrbuch der Physiologie*. 2. Aufl. 1861. Bd. II. S. 491) nachzuweisende Macht und Veränderlichkeit des Willenseinflusses auf die einzelnen Gruppen der Inspirationsmuskeln, namentlich oft sich äussernd durch gewohnheitsmässig ungenügende oder ganz unterbleibende Activirung des Diaphragma's beim willkürlichen Einathmen. Von letzterem Umstande giebt den sprechendsten Beweis die Thatsache, dass bei manchen Individuen die Einziehung des Epigastrium's keineswegs bloss mit forcirter Inspiration verbunden ist, sondern sofort eintritt, wenn auf Veranlassung willkürlich eine auch nur schwache Inspiration ausgeführt wird. — In Folge dieser variabeln Verhältnisse ist auch die in Rede stehende paradoxe Inspirationsweise, obwohl überaus häufig anzutreffen, doch keineswegs so allgemein, wie gewöhnlich und auch von Hutchinson angenommen worden ist. Abweichungen von derselben kommen in allen Abstufungen vor, und es giebt sogar so manche Personen, namentlich männlichen Geschlechts, die willkürlich

C. erheblich niedriger ausfallen als die von A. und B., obwohl gerade bei C. die thoracische Bewegung und besonders die Erweiterung der Intercostalräume sehr bedeutend ist. Die Last der Wassersäule muss ja durch Erschwerung des Lufteintritts in die Lungen ähnlich wirken wie etwa eine Stenose der oberen Luftwege, bei der ebenfalls öfters eine Einziehung des Epigastriums erfolgt, und sie mag das ihrige zur Herstellung der Erscheinung beitragen. Dennoch ist letztere nur individuell eintretend, und es ist offenbar, dass jenes Moment bei den bestveranlagten Individuen durch Mitbenutzung und kräftige Gegenwirkung des Diaphragma überwunden wird.

Immer aber, auch bei der ersten Gruppe der beobachteten Personen (A. und B.) wird der grössere Theil der Arbeit durch die thoracischen Muskeln geleistet. Die Erweiterer und Heber des Thorax werden mächtig angestrengt und zuletzt auf's Aeusserste gespannt, auch die accessorischen Hülfsmuskeln, darunter sichtlich der Cucullaris und der Sternocleidomastoideus und ausserdem auch die Gruppe der Sterno-thyreo-hyoidei, durch welche zugleich von vorn herein Kehlkopf und Zungenbein mit einem Ruck ein Stück abwärts gezogen werden und in dieser tiefen Stellung während des ganzen Saugacts verharren. Die Mitwirkung der letztgenannten Muskelzüge hat eine mehrfache Bedeutung. Erstens nämlich können und müssen dieselben, nachdem sie unter Dehnung ihrer schwachen Antagonisten, der Stylohyoidei und Digastrici das Zungenbein abwärts gerückt haben und während sie es in dieser Stellung festhalten, zugleich durch den weiteren Zug auf ihre unteren Ansatzpunkte zur Hebung des Sternums beitragen. Zweitens dient die Fixirung des Zungenbeins nach unten mit gleichzeitiger Contraction der Hyoglossi dazu, durch Niederziehen des hinteren Theils der Zunge die Communication der Mundhöhle mit dem Kehlkopf weit offen zu erhalten. Auf eine dritte accidentelle Beziehung kann ich erst im letzten Abschnitte dieser Arbeit eingehen.

Zur vollen Uebertragung der Wirkung dieser inspiratorischen Anstrengung auf den Inhalt des Hebers gehört natürlich Abschliessung gegen die äussere Luft, namentlich auch Verhinderung des Luftzutritts durch die Nase. Man wird schon voraussetzen, dass letztere durch Erhebung des Gaumensegels und Anschmiegen desselben an die Rachenwand erreicht wird, wie dies gewöhnlich bei einer rein durch den Mund erfolgenden Inspiration geschieht und eventuell, nämlich bei weit geöffnetem Munde leicht zu sehen ist. Am Saugheber, um dessen oberes Ende der Mund des Saugenden fest geschlossen ist, lässt sich dies Verhalten nicht ohne Weiteres

in ausgiebigster Weise zugleich thoracisch und abdominell inspiriren. Ausserdem ist auch oftmals an einem und demselben Individuum unter Hinlenkung der Aufmerksamkeit die Art des Vorganges absichtlicher Veränderungen fähig. — Mit diesen allgemeinen Andeutungen über die Angelegenheit muss ich mich an dieser Stelle begnügen.

wahrnehmen. Indessen habe ich dasselbe doch auch hier, mittels Einschaltung des weiter unten zu beschreibenden Saugspiegels direct constatiren können.

Während dieses Saugvorgangs kann man übrigens durch Auscultation an den Lungen ein Inspirationsgeräusch wahrnehmen, welches in Folge der Langsamkeit der Athembewegung nicht den gewöhnlichen vesiculären sondern einen modificirten Charakter hat und damit einem sogenannten unbestimmten Inspirationsgeräusche ähnlich ist.

Dass dabei die Wangen zwar ein wenig, jedoch eben nur in sehr mässigem und allmählich steigendem Grade eingezogen werden, ist theils in dem Vorangeschickten, theils in den speciellen Verhältnissen der inneren Luftverdünnung begründet, die ich noch besprechen werde.

Nächstdem suchte ich noch eine ungefähre Anschauung über die Grenzen der Leistungsfähigkeit dieses Saugverfahrens zu gewinnen. Es waren dabei folgende Maxima zu bestimmen, betreffend: 1. das hydrostatische Maass der entwickelten Kraft, gegeben in der Höhe der aufgestiegenen Wassersäule (H), 2. das Volumen und damit das Gewicht der gehobenen Wassermenge (P), 3. die mittlere Hubhöhe derselben (h), 4. die geleistete Arbeit im physikalischen Sinne (L), zu berechnen als Product aus h und P. Diese Grössen sind nicht einfach abzuleiten aus den bekannten Dimensionen des Instruments, und dies zwar aus mehreren Gründen. Die Küfer sind nämlich, um sich die Arbeit zu erleichtern, geneigt, den Heber möglichst tief einzutauchen, wodurch ja der Nullpunkt der Hebung beträchtlich in die Höhe gerückt wird, und sie sind in der That nicht im Stande, wenn eben nur das unterste Ende eintaucht, die Kugel gänzlich zu füllen. Es war also das Maass dieser nothwendigen Verkürzung der Hubhöhe zu ermitteln, insoweit es auf den Fall gänzlicher Füllung ankam. Andererseits vermochten die beiden stärkeren Individuen, A. und B., ein Ansteigen des Wassers bis zur Füllung von zwei Dritteln des Kugelraumes nicht bloss bei oberflächlichem Eintauchen, sondern sogar noch dann zu bewerkstelligen, wenn mittels eines Ansatzstückes an die untere Röhre die Hubhöhe um 31 ^{cm} für A und um 27 ^{cm} für B gesteigert war, ein Verhältniss, welches ich desshalb besonders hervorhebe, weil gerade unter diesen Bedingungen die Maxima der Arbeit geleistet wurden. Es hängen diese Verhältnisse mit dem bald näher zu begründenden Umstande zusammen, dass die Schwierigkeit dieser Arbeit weniger in der mässigen Hubhöhe als in dem grossen Volumen der anzusaugenden Wassermenge liegt.

Ich benutzte zu diesen Versuchen einen grossen Kugelheber, an welchem eine aufsteigende Centimeter-Eintheilung angebracht und der Rauminhalt im Ganzen wie hinsichtlich seiner einzelnen Abtheilungen bestimmt war. Das aufzusaugende Wasser befand sich in einem weiten Kübel, so dass schon

eine Schicht von 1 cm genügte, um das den Heber füllende Wasser zu liefern, womit eine genügend annähernde Stabilität des Nullpunktes erreicht wurde.

Aus den Ergebnissen dieser messenden, an den beiden mit A und B bezeichneten Küfern angestellten Beobachtungen will ich hier nur über die maximalen Arbeitsleistungen nähere Angaben machen und diese durch einige Bemerkungen erläutern.

Bei beiden Individuen traten, wie schon angedeutet, die Arbeitsmaxima dann ein, wenn unter Ausnützung gewisser Strecken des unteren Ansatzrohres das Wasser so weit bis über den Aequator der Kugel hinaufgehoben wurde, dass zwei Drittel des Kugelraumes gefüllt waren. Bei noch weiterer Steigerung der Hubhöhe durch noch tiefere Senkung des Nullpunktes wurde wieder so viel weniger Wasser in die Höhe gefördert, dass das Product aus beiden Factoren sich successive erniedrigte. Unter den erst angegebenen Bedingungen aber war:

bei A $H = 95^{cm}$ Wasser
„ B $H = 91$ „ „

Umgerechnet in gleichwerthige Quecksilbersäulen würden sich, zu ganzen Zahlen abgerundet ergeben:

für A $H = 70^{mm}$ Hg
„ B $H = 67$ „ „

Dass diese Werthe nicht die Maxima des Inspirationsdrucks, deren die beiden Individuen fähig sind, darstellen konnten, war schon aus der mässigen Höhe jener zu entnehmen; denn sie bleiben um 6—9 mm hinter dem von Donders und noch mehr hinter den von Hutchinson und einigen späteren Beobachtern gefundenen Höchstbeträgen zurück, während doch meinen Versuchspersonen eher eine ungewöhnlich grosse Leistungsfähigkeit zuzutrauen war. Auch erwiesen schon einige Beobachtungen mit noch tieferer Einstellung des Nullpunktes die Erreichbarkeit grösserer Hubhöhen. Demnach deuteten die obigen Befunde auf einen erschwerenden Einfluss der besonderen Versuchsbedingungen hin. Um nun eine sichere Grundlage zum Vergleiche zu erhalten, machte ich noch auf dem üblichen pneumatometrischen Wege, nämlich am Quecksilber-Manometer eine Bestimmung des maximalen Inspirationsdrucks, und zwar nach der in gewisser Hinsicht vorwurfsfreieren Methode mit Inspiration durch die Nase.[1] Die Eigenschwankung des Quecksilbers wurde durch langsames Inspiriren möglichst vermieden und nur diejenige Höhe notirt, die mindestens eine Secunde lang festgehalten werden konnte. Die Individuen waren aufgefordert und auch

[1] Vergl. den letzten Abschnitt dieser Abhandlung.

sichtlich bestrebt, in jedem Einzelversuche das Möglichste zu leisten. Hierbei erwies sich im Mittel aus einer Reihe Einzelversuche mit übrigens nur kleinen Differenzen der maximale Inspirationsdruck (J):

für A $J = 92^{mm}$ Hg
„ B $J = 104$ „ „

Nahezu entsprechend, und nur mit solchen kleinen Incongruenzen behaftet, die sich durch Abweichungen in dem Maasse der Anstrengung und Ermüdung erklären, war auch das Resultat bei Hebung von Wasser durch nasale Inspiration und zwar mittels einer langen Glasröhre von 5^{mm} lichtem Durchmesser, welche unten senkrecht in einen Napf mit gefärbtem Wasser eintauchte, wobei ich erhielt:

für A $J = 1280^{mm}$ Wasser
„ B $J = 1360$ „ „

In der That besitzen also die betreffenden Personen eine ungewöhnlich grosse Kraft der Einathmung. Es liegt nahe, diese mit der Profession der Leute, ihrer täglichen Uebung in Ueberwindung eines grossen Widerstandes in Zusammenhang zu bringen und den Schluss zu ziehen, dass durch Uebungen dieser Art die Inspirationsmuskeln sehr gestärkt werden können.

Dass aber die erzielten Druckhöhen am Kugelheber so viel geringer ausfallen, als an einfachen Saugröhren und am Hg-Manometer glaube ich genügend aus dem bei jenem sehr viel grösseren Volumen der gehobenen Flüssigkeit auf folgende Art erklären zu können. Es muss ja eine diesem Quantum entsprechende, verhältnissmässig bedeutende Erweiterung des Brustraumes eintreten, und es haben dann die Inspirationsmuskeln ausser dem hydrostatischen Widerstand der Wassersäule auch noch in höherem Grade die elastische Spannung der Lungen, Knorpel, Bauchmuskeln u. s. w. zu überwinden, während am Manometer thatsächlich nur eine sehr kleine Athembewegung zur Ausführung gelangt. Dies ist der hauptsächliche Grund. Es kommt noch hinzu, dass während der langen Zeit von 8—10 Secunden, welche am Saugheber das Aufsteigen der grossen Wassermenge durch die untere Partie hindurch in Anspruch nimmt, die Muskeln ermüden, so dass sie zuletzt nicht mehr dieselbe Kraft entwickeln können, wie am Manometer, wo das Aufsteigen in der ersten oder höchstens zweiten Secunde beendigt ist. Die letzteren, durch die Form des Instrumentes bedingten Schwierigkeiten sind in weiteren, bald zu beschreibenden Versuchen eliminirt worden, auf Grund deren wir die ersterwähnte, durch das Wachsthum der inneren Widerstände bedingte Hemmung genauer werden schätzen können.

Die gehobene Wassermenge, d. h. das ganze Quantum, welches den Raum vom Nullpunkte bis zum oberen Niveau in der Kugel ausfüllte, hatte in den beiden untersuchten Fällen folgende Beträge. Es war rund

bei A $P = 1550^{\text{ccm}}$
„ B $P = 1540$ „

Die mittlere Hubhöhe dieser Massen ermittelte ich empirisch, indem ich nach Verschluss der unteren Oeffnung und Füllung des unteren Rohres bis zu dem benutzt gewesenen Nullpunkte die Hälfte der eben angegebenen Quantitäten Wasser in den Heber eingoss. So ergab sich

für A $h = 89^{\text{cm}}$
„ B $h = 85$ „

Durch Multiplication von P mit h resultirt ferner:

für A $L = 1 \cdot 37$ Meter-Kilogramm
„ B $L = 1 \cdot 30$ „

Diese Arbeitsgrössen müssen als sehr hohe imponiren, um so mehr, da sie mit einem einzigen Saugzuge, wenn auch in der relativ langen Zeit von ca. 9 Secunden geleistet werden, und sie charakterisiren den Inspirationsapparat als eine in wohl kaum erwartetem Grade mächtige Arbeitsmaschine.

Unter abgeänderten Bedingungen aber, nämlich bei tiefem Eintauchen des Hebers und damit verringerter Hubhöhe kann, wie erwähnt, die Kugel ganz vollgesaugt werden und damit P bis zu 2050^{ccm} ansteigen, eine Grösse, die ja beträchtlich unter der bekannten vitalen Capacität der Lungen zurückbleibt. Dieser Grenzwerth ist aber keineswegs bloss durch das beschränkte Fassungsvermögen des Instrumentes bedingt; vielmehr ist jenem das Ausmaass der Hohlkugel erfahrungsmässig angepasst. Wie sich bald zeigen wird, liegt auch nach dieser Richtung das Maassgebende für die Begrenzung in den oben erwähnten inneren Ursachen.

Um nämlich die Unzuträglichkeiten zu vermeiden, welche für die wissenschaftliche Seite der Sache die eigenthümliche Form des Kugelhebers mit sich bringt, namentlich um ein zu sicheren und leichten Messungen besser geeignetes Instrument zu erhalten, das für vergleichende Untersuchungen als ein Pneumergometer dienen und als solches vielleicht auch für die praktische Medicin nutzbar sein könnte, liess ich zunächst versuchsweise Saugröhren von gleichmässigem Querschnitte und grösserem Rauminhalte anfertigen. Da Glasröhren von den nöthigen Dimensionen schwer zu haben sind, so war ich einstweilen darauf angewiesen, den Haupttheil der Apparate in Form einer quadratischen Säule aus Zinkblech und Glasscheiben zusammenfügen zu lassen. Fig. 1 giebt die Vorderansicht eines solchen mit gewissen Nebenbestandtheilen versehenen Instrumentes. In der Mitte

zweier gegenüberliegender Seiten befindet sich ein Längsspalt von 2 cm Breite, luftdicht gedeckt durch Glasscheiben, auf denen eine aufsteigende Centimeterscala verzeichnet ist. An den vier unteren Ecken sind Füsse von 2 cm Höhe angebracht, deren Zwischenräume dem Wasser Einlass gewähren. Oben setzt sich der vierkantige Hohlkörper in eine senkrechte, cylindrische, 2 cm weite Röhre fort, die am oberen Ende luftdicht zu verschliessen ist und in passender Höhe einen horizontalen, als Mundstück dienenden Seitenzweig trägt (*M*). Diese einfache Form genügt für die Untersuchung der Maximalleistungen. Für andere Zwecke sind aber noch folgende Ergänzungstheile angebracht, nämlich der Sperrhahn *R* und eine neben dem Hauptkörper senkrecht, und zwar von dem Niveau seines unteren Randes aufsteigende, von unten aus nach Centimetern graduirte Glasröhre (*N*), von etwa 6 mm Weite und 100 oder noch besser 130 cm Höhe, welche oben umbiegend mittels eines durchbohrten Pfropfens mit dem oberen Ende des Blechrohres (*O*) in Verbindung steht. Die Bestimmung dieser Nebentheile werde ich später angeben. Nehmen wir einstweilen an, der Hahn *R* stehe offen und *O* sei gänzlich verschlossen.

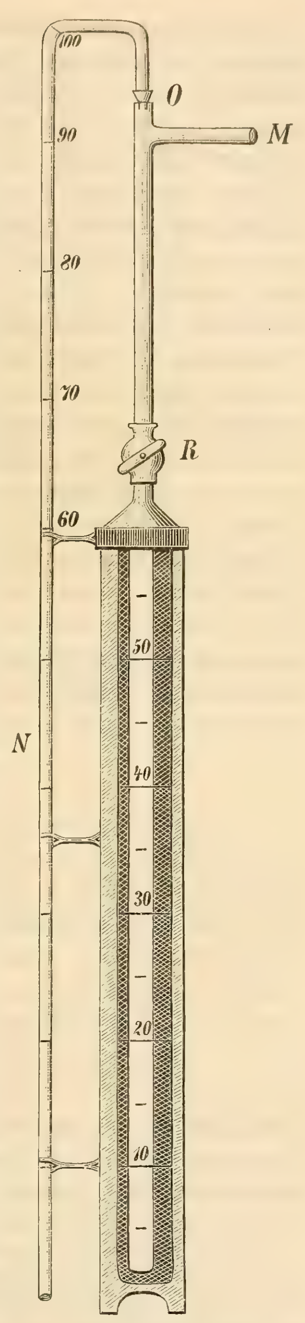


Fig. 1.

Auf Grund einer aus dem Obigen sich ergebenden Berechnung versuchte ich es zunächst mit einem solchen Instrumente, dessen prismatischer Hauptbestandtheil 36 qcm Grundfläche hat, und traf damit sehr annähernd das Zweckmässigste (Instr. Nr. II). Zum Vergleiche zog ich dann noch solche mit 100, 30 und 20 qcm Querschnitt hinzu, die mit den Nummern I, III und IV bezeichnet sein mögen. Je kleiner der Querschnitt ist, desto grösser muss natürlich in der Höhenrichtung der Spielraum für die aufsteigende Wassersäule sein; es ist deshalb im vierkantigen Theile I 30, II 60, III 65, IV 75 cm hoch.

Das Instrument wird bis ungefähr 1 cm über den Nullpunkt in gefärbtes Wasser eingesenkt,

das sich in einer weiten Schüssel befindet, so dass der äussere Wasserspiegel während des Saugactes noch nicht um 1 cm sinken kann. Die zu untersuchende Person muss nach möglichst vollständiger Exspiration langsam und mit stetig wachsender Anstrengung das inspiratorische Saugen bewerkstelligen, um sprudelnde Bewegung des Wassers zu vermeiden.

Es lassen sich nun hinsichtlich der Verhältnisse bei einem solchen Saugact theoretisch einige Formeln feststellen auf Grund der folgenden Erwägung. Am Ende jedes Saugactes, er sei stark oder schwach, vollständig oder nur bis zu einem Punkte hin ausgeführt worden, wird der äussere Luftdruck aequilibrirt theils durch das hydrostatische Gewicht der gehobenen Wassersäule (H) theils durch die Spannung der im Innern, d. h. der noch im Instrument und in den Lungen befindlichen Luft. Diese ist aber verdünnt durch den Zug der Wassersäule, uud es lässt sich ihre Spannung im Vergleich zu derjenigen der äusseren Luft ausdrücken durch das Verhältniss ihres Anfangsvolumens zu ihrem Volumen am Ende des Vorganges. Ersteres ist gleich dem Volumen der Residualluft (v) + demjenigen im Instrumente, erhältlich als Product aus der Höhe desselben (l) und seinem Querschnitt (q). Am Ende des Saugactes aber ist dieses Volumen einerseits vermehrt um das cubische Maass der Erweiterung des Brustraumes (v'), anderseits vermindert um das Volumen der gehobenen Wassermasse (Hq). Daraus ergiebt sich, den atmosphaerischen Druck mit b bezeichnet, die Gleichung:

$$(1) \qquad b = H + b \frac{v + lq}{v + lq + v' - Hq}$$

In dieser und den folgenden Gleichungen sind immer l, q und b ohne Weiteres bekannt. Für b ist der gerade obwaltende Barometerstand, umgerechnet in Centimeter Wasserdruck einzusetzen; eventuell kann aber auch ohne erhebliche Schädigung des Resultats $b = 1033$ cm Wasserdruck angenommen werden. v sind wir berechtigt als ungefähr gleich 1400 ccm zu erachten.[1] Ist nun auch H durch Beobachtung gefunden, so lässt sich v' nach folgender aus der obigen Gleichung (1) abzuleitenden Formel berechnen:

$$(2) \qquad v' = \frac{H}{b - H}\left(v + q\,(l + b - H)\right).$$

Dem möchte ich jedoch aus bestimmter Veranlassung noch Folgendes hinzufügen. Gesetzt es sei H noch unbekannt, hingegen v' auf irgend einem empirischen Wege gefunden, so können wir auch H berechnen. Bei der

[1] Diese Annahme entspricht dem Mittel aus den älteren, unter sich nur wenig differirenden Bestimmungen von Hutchinson, Gréhant u. A. Uebrigens spielt v in allen hier folgenden Berechnungen eine wenig bedeutende Rolle, so dass selbst eine Verminderung oder Vermehrung um die Hälfte die Resultate nur wenig ändert. Vgl. die zweitnächste Anmerkung.

Ableitung aus (1) kommt man auf eine quadratische Gleichung und schliesslich auf:

$$H = \frac{b}{2} + \frac{v + lq + v'}{2q} - \sqrt{\left(\frac{b}{2} + \frac{v + lq + v'}{2q}\right)^2 - \frac{bv'}{q}}. \tag{3}$$

Ich versuchte nun zunächst mittels der letzten Formel im Voraus zu berechnen, welche Maximalleistungen an meinen vier Pneumergometern zu erwarten sein würden unter der vorläufigen, durch die Beobachtung am Kugelheber veranlassten Voraussetzung von $v' = 2000$. Dabei kam heraus für I: 19·15, für II: 50·3, für III: 60, für IV: 86 cm. Mit diesen erwarteten Zahlen stimmen nun die Ergebnisse der an mehreren saugkräftigen Männern angestellten Versuche, so weit sie die Instrumente I und II betreffen, sehr gut überein, und zwar bewegten sich die Schwankungen der Einzelresultate nur zwischen 18 und 20, resp. 48 und 52 cm. Diese Uebereinstimmung ist zugleich hinsichtlich dieser Fälle ein Beweis für die sehr annähernde Richtigkeit der Annahme von $v' = 2000$. Nicht zutreffend hingegen erwies sich letztere an den Instrumenten III und IV. An diesen nämlich ergab sich ein von dem erwarteten abweichendes und zwar niedrigeres Resultat. Auch die leistungsfähigsten Individuen vermochten in diesen engeren Röhren das Wasser im Mittel nicht höher als bis 54, resp. 62 cm hoch anzusaugen, und diese Zahlen wurden nur in seltenen Einzelversuchen bei enorm gesteigerter Anstrengung um einige Centimeter überschritten. Im Mittel also ergaben sich, empirisch bestimmt, an diesen saugkräftigen Männern folgende Werthe von H:

für Instrument	I	II	III	IV
$H =$	19·2	50	54	62 cm Wasserdruck.

Setzen wir diese Werthe in die obige Gleichung (2) ein, so resultiren für die Erweiterung des Brustraumes in den vier von uns betrachteten Fällen folgende Grössen:

für	I	II	III	IV
$v' =$	2003	1980	1800	1425 ccm,

was unter Hinzuaddirung der anfänglichen Residualluft 3400, 3380, 3200 und 2825 ccm als schliesslichen Luftgehalt der Lungen ausmacht. Darüber hinaus vermag also unter den bezeichneten Bedingungen auch ein athmungskräftiges Individuum den Brustraum nicht oder doch nur ausnahmsweise ein wenig zu erweitern. Das Quantum der eingeathmeten Luft bleibt demnach sehr bedeutend hinter der bekannten vitalen Capacität von 3000—4500 ccm zurück, und um so mehr, je kleiner der Querschnitt der Saugröhre, und je höher damit die Wassersäule ist, die gehoben werden muss.

Diese Erfahrungen sind lehrreich. Es ist ja schon aus allgemeinen Erwägungen zu schliessen, dass eine volle Ausnutzung der vitalen Capacität

nur dann möglich sein wird, wenn keine erhebliche äussere Erschwerung entgegensteht. Da mit der steigenden Erweiterung des Brustraumes zugleich die elastischen Widerstände der Lungen, Knorpel, Bauchmuskeln und anderer Körpertheile, sagen wir allgemeiner der inneren Widerstände des Inspirationsapparates progressiv wachsen, so wird, wenn ausserdem ein äusserer, gleichzeitig wachsender Widerstand vorhanden ist, schon viel früher ein Grenzverhältniss eintreten, in welchem die Summe der inneren und äusseren Widerstände der Kraft der Inspirationsmuskeln das Gleichgewicht hält, und zwar um so früher, je schneller der äussere Widerstand wächst. Letzteres ist in unseren Versuchen um so mehr der Fall, je kleiner die Lichtung der Röhre ist und je höher in Folge dessen das Wasser steigen muss, und um so kleiner fällt also auch die schliessliche Erweiterung des Brustraumes aus. Diese ist bei Benutzung der üblichen engen Manometerröhren überhaupt nur eine minimale, und es werden gerade dadurch die höchsten hydrostatischen Werthe des Inspirationsdruckes gefunden.

Durch meine obigen Versuche sind aber für diese Verhältnisse einzelne bestimmte Maasse ermittelt worden. Es hat sich gezeigt, dass bei einer Erweiterung um 1425 ^{ccm} in der Regel eben noch eine Wassersäule von 62 ^{cm} getragen werden kann, welche jedoch weiteren Fortschritt der Inspirationsbewegung hemmt. Dasselbe thun 54 ^{cm} Wasser, wenn ca. 1800 ^{ccm} Luft eingeathmet worden sind. Nach Einathmung von ca. 2000 ^{ccm} kann im Mittel noch eine Wassersäule bis zu 50, höchstens aber 52 ^{cm} Höhe bewältigt werden, womit ja auch die Beobachtungen am Kugelheber übereinstimmen. Mit der Erweiterung um 2000 ^{ccm} oder wenig mehr scheint aber überhaupt eine Grenze erreicht zu sein, welche nicht erheblich überschritten werden kann, wenn noch irgend eine äussere Last gehalten werden soll. Wenigstens kann man dies aus den Beobachtungen mit der weiten Röhre I folgern, die ebenfalls nicht mehr als 2000 für v' ergeben, obwohl nur 19 ^{cm} Wasser zu halten sind. Es mögen eben jenseits der entsprechenden Thoraxstellung die inneren Widerstände zu rapide anwachsen.

Nach diesen Ermittelungen seien zunächst noch kurz die Grade der Verdünnung der Innenluft in den obigen Versuchen charakterisirt. Schon aus den Höhen der gehobenen Wassersäulen ist sofort ersichtlich, dass die wirkliche Verdünnung etwa 10—40 mal grösser ist als bei freiem Athmen. Der absolute Werth aber der betreffenden Luftspannungen, den äusseren Luftdruck = 1 gesetzt, lässt sich auf doppelte Art bestimmen, sowohl durch Berechnung des Ausdrucks $\frac{b-H}{b}$, wie auch nach der oben begründeten Formel $\frac{v+lq}{v+lq+v'-Hq}$. Auf beide Arten ergiebt sich übereinstimmend für das Ende jedes einzelnen Saugacts in den obigen Versuchen:

	für I	II	III	IV
Die Spannung =	0·981	0·950	0·947	0·940, also
eine Verdünnung um	1·9%	5%	5·3%	6%.

Diese absolut betrachtet nur geringen Verdünnungen der Innenluft verursachen wohl ein Gefühl der Spannung im Trommelfell; irgend eine andere unangenehme Nachwirkung habe ich jedoch niemals, weder an mir selbst noch an anderen Versuchspersonen erfahren, dank der kurzen Zeitdauer der Einzelversuche. Der höchste innere Wasserstand hält nämlich nur 1 bis 2 Secunden an; die Kraft der Athmungsmuskeln ist dann so weit erschöpft, dass der Thorax wieder zusammensinkt und das Wasser rapide zurückfällt. Nur dadurch vermögen geübte Personen bei passender Form des Mundstücks den höchsten Wasserstand längere Zeit zu erhalten, dass sie die Oeffnung des Mundstücks mit der Zunge verschliessen, worauf ja der Athmungsapparat entlastet ist und übrigens unter Lüftung des Gaumensegels sofort in Expirationsstellung übergeht. Ob hingegen von einer längeren Einwirkung derartig verdünnter Innenluft nicht üble Folgen, namentlich für die Lungen, zu befürchten sein könnten, ist eine andere Frage, die meines Erachtens mindestens zur Vorsicht Veranlassung giebt, nicht bloss bei diesen, sondern auch überhaupt bei pneumatometrischen Untersuchungen.

Was nun aber denjenigen Punkt anbetrifft, wegen dessen ich ursprünglich die Versuche mit solchen Pneumergometern unternommen hatte, nämlich die durch inspiratorisches Saugen zu leistende Arbeit, bestimmbar durch einfache und vergleichbare Messungen, so sind solche ja bei Anwendung immer ein und desselben Instruments ohne Weiteres zu erlangen. Die Arbeit berechnet sich als Product aus der mittleren, d. h. hier wegen des gleichmässigen Querschnitts der halben Hubhöhe mit dem Gewichte der gehobenen Wassermenge, das so viele Gramm beträgt, als in dem Volumen Cubikcentimeter enthalten sind. Es ist also $L = \frac{H^2 q}{2}$. Dies ergiebt:

für	I	II	III	IV
$L =$	0·18	0·45	0·44	0·38 Meter-Kilogramm.

Es ist also die Arbeitsleistung am grössten bei dem Instrument Nr. II, während sie sowohl nach I wie nach IV hin abnimmt. Da überdies der Unterschied in den Dimensionen zwischen II und III nur klein ist, so folgt, dass sehr nahe bei 36 ccm derjenige Querschnitt liegen muss, welcher die vortheilhafteste Bedingung liefert, und ich würde für Untersuchungen über das Maximum individueller Leistungsfähigkeit einem Instrumente von den Dimensionen des oben sub II angeführten den Vorzug geben, um so mehr, als dabei das anscheinend absolute Maximum von 2000 ccm ohne Ueberanstrengung erreicht wird.

Beiläufig hat sich auch gezeigt, dass die Arbeitsleistungen mit solchen in ihrem Hampttheile gleichmässig weiten Röhren weit hinter denen zurückbleiben, die mit dem Kugelheber zu erzielen sind, bei welchem sich ja das Maximum bis zu 1·3 Meter-Kilogramm erhob. Dies ist auch bei näherer Ueberlegung wohl begreiflich. Es ist nämlich in der uns jetzt beschäftigenden Beziehung ein Vorzug des Kugelhebers, dass der grösste Theil der maximalen Wassermenge in die oberste Region des Instruments hinaufbefördert und damit die mittlere Hubhöhe vergrössert wird. Letzteres Moment allein bedingt den erhöhten Werth von L. Es zeigt sich also, dass die gebräuchliche Form der Saugheber, obwohl durch ganz andere Gründe praktischer Art veranlasst, doch auch hinsichtlich der physiologischen Frage des möglichen Maximums der inspiratorischen Arbeitsleistung so ziemlich die vortheilhafteste ist, die man wählen könnte. Für vergleichende Messungen hingegen würde sie grosse Unbequemlichkeit oder Ungenauigkeit der wesentlichen Bestimmungen mit sich bringen. Da es nun für den genannten Zweck nicht auf das absolute Maximum ankommt, so würde für denselben mein Instrument sich viel besser eignen.

Es ist klar, dass dem Pneumergometer eine andere Aufgabe zukommt als der üblichen Pneumatometrie mit engen Manometerröhren. Letztere misst die Kraft, welche die Inspirationsmusculatur im Beginne der Einathmung, also nahe der Exspirationsstellung zu entwickeln vermag. Sie liefert deshalb auch die grössten hydrostatischen Werthe; dagegen vermag sie, weil das Quantum der gehobenen Flüssigkeit ein minimales und überdies unbestimmtes ist, über die Arbeitsleistung, deren der inspiratorische Apparat fähig ist, nichts auszusagen. Das Pneumergometer hingegen misst diejenige Kraft, welche in einer gewissen, ziemlich weit getriebenen Inspirationsstellung neben der Ueberwindung der inneren Widerstände noch nach aussen hin entwickelt wird, bezeichnet so ebenfalls einen Grenzwerth, der individuell verschieden ausfallen wird, und enthält überdies die Bedingungen zur vergleichenden Bestimmung der inspiratorischen Arbeitsleistung, deren verschiedene Individuen fähig sind.[1]

Ferner würde man damit auch die Curve des Anwachsens der inneren Widerstände feststellen können, und zwar nach Wahl auf zweifachem Wege, nämlich entweder durch Prüfung jedes Individuums mit einer grösseren Reihe in ihrem Querschnitt abgestufter Instrumente auf die Maximalleistung

[1] Die hier erwähnten Leistungen am Pneumergometer wurden alle bei offenen Nasenlöchern geliefert. Bei Ausdehnung derartiger Versuche auf weniger geübte und schwächere Menschen würde aber eine Zuklemmung der Nase nöthig sein und sich der Gleichmässigkeit wegen allgemein empfehlen, aus Gründen, die ich im letzten Abschnitte näher entwickeln werde.

oder noch bequemer ausschliesslich mit dem Instrument Nr. II nach Anbringung der oben auf S. 77 angegebenen Ergänzungstheile. Ist der Hahn R geschlossen, so kann die Parallelröhre bei genügender Höhe als einfaches Wasser-Pneumatometer dienen, also den nahe der Exspirationsstellung erreichbaren negativen Druck angeben. War er im Anfange geöffnet, so kann ihn der Beobachter in jedem beliebigen Momente des Saugacts schliessen. Das Wasser in der Hauptröhre kommt damit zum Stehen, und seine Höhe dient als Grundlage für die Berechnung von v', während in der Nebenröhre durch die fortdauernde inspiratorische Anstrengung das Wasser bis zu dem der betreffenden Thoraxstellung entsprechenden Höhepunkte ansteigt, ohne bei der engen Lichtung dieser Röhre den Betrag von v' in nennenswerthem Grade zu erhöhen. So kann man für jeden Grad der Erweiterung des Brustraumes die dabei noch erübrigte Inspirationskraft bestimmen. Durch Ausdehnung dieser Untersuchung auf viele Individuen würde man sowohl die normale Form jener Curve wie auch die etwa durch Lebensalter, Geschlecht, pathologische Zustände bedingten Abweichungen erforschen können. Bei der Berechnung von v' brauchte, so weit es sich um gesunde erwachsene Personen handelt, die Einsetzung des Durchschnittsmaasses von 1400 ccm für v kein Bedenken zu erregen, da eine Abweichung um mehr als 700 ccm wohl kaum vorkommen dürfte[1] und eine innerhalb dieses Spielraumes liegende Differenz das Endresultat nicht bedeutend verändert, wie eine nähere Betrachtung oder Ausrechnung der obigen Gleichung (2) leicht zeigt. Für unerwachsene Personen oder in pathologischen Fällen müsste freilich unter Umständen ein entsprechend abgeänderter Betrag für v eingestellt werden, wobei jedoch aus dem eben erwähnten Grunde ein Fehler von ein paar 100 ccm wieder nicht von Belang sein würde. Falls die Parallelröhre mit benutzt wird, kann man, um möglichst genau zu rechnen, den Luftgehalt derselben, im Betrage von etwa 80 ccm zu lq hinzuaddiren. In so weit übrigens die Zahl 1400 für v angenommen werden kann, bedarf es gar nicht einmal einer jedesmaligen Ausrechnung von v' nach der bewussten Formel; denn es zeigt sich bei der Berechnung für eine Anzahl Stufen von H, dass sich für jedes Pneumergometer von irgend welchem Querschnitt ein für allemal ein Coefficient ermitteln lässt, der mit H multiplicirt v' ergiebt. Zwar steigt dieser Coefficient mit H successive etwas an,

[1] Waldenburg's Berechnung (*Zeitschrift für klinische Medicin.* Bd. I), welche auf den hohen Betrag von 9000—13 000 ccm hinauslief, ist schon von Speck (*Deutsches Archiv für klinische Medicin*, Bd. XXXIII) mit guten Gründen widerlegt worden. Andererseits schätzte Vierordt die Residualluft auf nur 600 ccm und hat ihr auch Pflüger (sein *Archiv* u. s. w., Bd. XXIX) nur ein Volumen von 400—700 ccm zuerkannt. Sollte dies richtig sein, so würde dadurch gleichwohl v' nur um ein paar Procent, z. B. von 1980 auf 1945—1930 reducirt werden.

jedoch um so geringe Bruchtheile, dass diese vernachlässigt werden dürfen und es genügt, sich an den mittleren Werth des Coefficienten zu halten. Dieser beträgt z. B. für mein Instrument I: 104.2, für II: 39·5, für III: 33·3, für IV: 22·9. Durch Multiplication dieser Zahlen mit dem jedesmal gefundenen Werthe von H gestaltet sich die Bestimmung von v' höchst einfach. Sie ist aber, wie ich nochmals hervorheben möchte, keineswegs zu ersetzen durch das Volumen der eingeathmeten Luft, welches gleich ist demjenigen der gehobenen Wassermasse (Hq), weil ein Theil der Erweiterung des Brustraumes zur Verdünnug der Innenluft verbraucht wird. Das Maass dieser Differenz mag daraus hervorgehen, dass bei den erwähnten maximalen Hebungen $Hq:v'$ sich verhält bei I allerdings nur wie 1920:2004, hingegen bei II wie 1800:1990, bei III wie 1620:1810, bei IV wie 1240:1430, so dass bei den drei letztgenannten Röhren jedesmal eine Differenz von 190 ^{ccm} auftritt, eine Gleichmässigkeit, die wohl mehr zufällig ist und gegenüber der in der Reihe von I—IV abnehmenden Gesammtmenge der Innenluft ($lq + v$, nämlich 4500, 3660, 3450, 3000 ^{ccm}) eine steigende Verdünnung bedeutet.

Weiter unten, nämlich im letzten Abschnitte dieser Arbeit, werde ich nachweisen, dass bei dieser Form der Versuche eine Steigerung jedes Einzelresultats durch Mitwirkung der Mundsaugeorgane, auch wenn letztere stattfindet, doch nicht zu fürchten ist, und dass sie schlimmsten Falls nur ganz unbedeutend sein könnte. Immerhin könnte man, falls man diesen Fehler dennoch besorgt, statt das obere Rohr direct in den Mund nehmen zu lassen, meinen noch zu beschreibenden Saugspiegel oder die Waldenburg'sche Mundnasenmaske einschalten. — Eine genügende Reihe systematischer Untersuchungen in diesem Sinne habe ich selbst noch nicht anstellen können und wollte hier nur einen Plan dazu entwickelt haben.[1]

[1] Eine gewisse Verwandtschaft mit meinem oben dargelegten Messungsverfahren bietet diejenige pneumatometrische Methode dar, welche Biedert erfunden hat, dessen bezügliche Abhandlung (*Berliner klinische Wochenschrift.* 1880. S. 245 ff. und S. 258 ff. Vergl. auch *Archiv für klinische Medicin.* 1876. Bd. XVII. S. 164 ff. und 1878. Bd. XVIII. S. 115 ff.) ich erst nach Abschluss dieser Arbeit kennen lernte. Biedert lässt von der Mundmaske ein gabelig verzweigtes Rohr ausgehen, dessen einer Zweig mit einem Hg-Manometer, der andere mit einem Spirometer in Verbindung steht. In den letzteren Zweig ist ein Stück Gummischlauch eingeschaltet, das durch einen Quetschhahn versperrt werden kann. Er lässt nun zunächst aus dem aequilibrirten Spirometer irgend eine Quantität Luft einathmen und sperrt dann plötzlich die Luftzuleitungsröhre, worauf die weitergehende Inspirationsbemühung das Quecksilber im Manometer hebt. Diese Modification bezeichnet meines Erachtens einen wesentlichen Fortschritt der Pneumatometrie; nur ist es nicht ganz correct, wenn Biedert einfach das Volumen der eingeathmeten Luft einsetzt, da auch am Ende jedes seiner Versuche eine Verdünnung der Innenluft stattgefunden haben muss, welche ein Plus, und zwar unter Umständen von ein paar Hundert Cubikcentimetern bedingt, wie ich oben nach-

Nächstdem aber dürfte sich das Pneumergometer, in besonderen Fällen vorsichtig angewandt, auch als Mittel zur methodischen Uebung und successiven Kräftigung des Inspirationsapparates benützen lassen, öfter noch zur Controlirung des Erfolgs irgend welcher anderen zu jenen Zwecke angewandten Behandlung.

Aus allem Voranstehenden aber hat sich genügend herausgestellt, dass es nicht bloss überhaupt ein inspiratorisches Saugen giebt,

gewiesen habe. Abgesehen hiervon hat Biedert's Methode mit der meinigen das Gemeinschaftliche, dass nicht bloss eine inspiratorische Anstrengung mit minimaler Excursion der Bewegungsorgane, sondern eine wirkliche und ausgiebige Einathmung gemacht und die am Ende derselben noch verfügbare Kraft gemessen wird. Hingegen wird mit Biedert's Methode nicht zugleich, wie das bei der meinigen der Fall ist, die geleistete Arbeit bestimmt. Ausserdem dürfte mein Pneumergometer folgende Vortheile für sich haben: erstens, dass der ganze Inspirationsact ein einheitlicher und gleichartiger mit allmählich steigender Schwierigkeit ist, während nach Biedert die Versuchsperson von freier und widerstandsloser Luftathmung plötzlich zur Hebung des Quecksilbers übergehen muss, was einerseits leicht ein zu schnelles Steigen des Hg verursachen kann, andererseits durchaus die Anwendung der Mundnasenmaske nöthig machen würde, weil die plötzlich eintretende Schwierigkeit zu leicht veranlassen dürfte, vom Inspiriren zu reinem Mundsaugen überzugehen; zweitens dass eine Ungenauigkeit in der Ablesung, die wegen der kurzen zu Gebote stehenden Zeit von 1—3 Secunden leicht möglich ist, bei meinem Instrument nicht entfernt so bedeutend in's Gewicht fällt, wie beim zweischenkligen Hg-Manometer; drittens, dass mein Pneumergometer ein sehr einfaches, leicht transportables und billig herzustellendes Geräth ist. Demgegenüber hat allerdings Biedert's Apparat den Vorzug, auch auf die Messung der Exspirationskraft, und zwar in allen Phasen der Exspiration anwendbar zu sein. Vielleicht würde dieser letztere Zweck auch durch ein U-förmig gestaltetes Pneumergometer auf verhältnissmässig einfache Art zu erreichen sein; ich verzichte jedoch hierauf an dieser Stelle näher einzugehen. — Erwähnen muss ich aber noch, dass in einem Punkte Biedert's Beobachtung einem meiner Ergebnisse stark widerspricht. Biedert fand an sich selbst nach Einathmung von 2000 ^{ccm} Luft einen Inspirationsdruck von 65 ^{mm} Hg, nach 3000 noch 33 ^{mm}, sogar nach 3500 noch 10 ^{mm}, während ich ja bei wenig mehr als 2000 ^{ccm} eine unübersteigliche Grenze gefunden habe. Ob nun wirklich so grosse individuelle Abweichungen vorkommen, oder ob eine der beiden Methoden mit einer wesentlichen Fehlerquelle behaftet ist, wird noch zu untersuchen sein. Dass bei meinem Verfahren die Ermüdung, die allerdings während des Saugactes sich entwickelt, an der Begrenzung der Leistung Schuld habe, kann ich deshalb nicht glauben, weil diese Begrenzung fast ganz ebenso auch bei dem Instrument I eintritt, nachdem nur 19 ^{cm} Wasser gehoben worden. Ich bin vorläufig eher geneigt zu glauben, dass vielleicht trotz aller Vorsicht Biedert's die eben bezeichneten Uebelstände seines Verfahrens zu hohe Ergebnisse herbeigeführt haben könnten, um so mehr wenn Biedert, wie es den Anschein hat, sich bei diesen Versuchen einer Mundmaske und nicht der Mundnasenmaske bedient hat, deren Vorzüge er selbst mit Recht hervorgehoben hatte. (Vgl. den letzten Abschn.) Dies will ich jedoch dahingestellt sein lassen; eine definitive Entscheidung über den fraglichen Punkt würden erst weitere Untersuchungen liefern können.

sondern dass für das Ansaugen von Flüssigkeiten der Thorax sogar ein überaus wirksamer, ja offenbar der mächtigste Motor ist, welcher dem menschlichen Körper zu Gebote steht. Gerade deshalb tritt er als solcher immer dann ein, wenn es gilt, mit einem einzigen Saugzuge eine grosse Arbeit zu leisten.

Uebrigens kommen auch im alltäglichen Leben einzelne andere inspiratorische Saugacte vor. Hierher gehört namentlich das sogenannte Schlürfen, wie es gewöhnlich bei heissen oder aus anderen Gründen nur in geringer Quantität einzuziehenden Getränken bewerkstelligt wird. Dies ist durch Selbstbeobachtung leicht zu constatiren und auch schon von anderen Seiten richtig hervorgehoben worden. Dabei muss jedoch bemerkt werden, dass nicht jedes Schlürfen auf inspiratorischem Wege erfolgt. Das Charakteristische desselben liegt zunächst nur darin, dass die Mundöffnung nicht gänzlich durch die Flüssigkeit geschlossen wird, und dass in Folge dessen neben der Flüssigkeit zugleich Luft unter Erzeugung eines Geräusches in die Mundhöhle eindringt. Letzteres kann aber ebenso dann der Fall sein, wenn der Saugact selbst ohne alle Bewegung der Lungen bewerkstelligt wird. So geschieht es bei dem geräuschvollen Saufen mancher Thiere, z. B. einzelner, obwohl nicht aller Pferde. Gerade für diese Species aber ist der nicht inspiratorische Charakter des Vorgangs durch einen Versuch von Poncet[1] bewiesen. Er machte an einem Pferde die Tracheotomie und legte eine Canüle derart ein, dass die Athmung nur durch diese von Statten ging, während die Communication mit dem Kehlkopf versperrt war. Trotzdem konnte das Thier unbehindert und in seiner gewöhnlichen Weise weiter saufen, womit dargethan ist, dass an letzterem Acte die Athmung gar nicht betheiligt ist. Und letzteres gilt eben so von der gewöhnlichen menschlichen Art des Trinkens.

Wenn nämlich auch nach Obigem beim Saugen an geräumigen Röhren so wie bei jener vorsichtigen Art des Trinkens, die wir Schlürfen nennen, im Wesentlichen durch die Erweiterung des Brustraumes der Erfolg herbeigeführt wird, so ist es doch auf der anderen Seite gänzlich verfehlt, wie es von mehreren Seiten noch neuerdings geschieht, die Inspiration als den einzigen oder auch nur hauptsächlichen Modus des Saugens hinzustellen. Am wenigsten begreiflich ist mir, wie man diese Ansicht sogar auf die gewöhnliche Art des menschlichen Trinkens hat anwenden können. Schon *a priori* lässt eine nähere Ueberlegung eine solche Art des Vorgangs als unglaublich erscheinen wegen der grossen und bei der aufrechten Stellung des Menschen kaum zu vermeidenden Gefahr des Eindringens der Flüssigkeit in den Kehlkopf und die tieferen Luftwege. Aber auch die

---

[1] Vergl. die Anmerkung auf S. 60.

Beobachtung beweist direct und in einfachster Weise das Gegentheil. Sowohl an sich selbst wie an anderen Personen kann man leicht constatiren, dass während des Trinkens nicht die geringste Athembewegung zu geschehen braucht, dass sogar während längerer Dauer desselben in der Regel die Athmung ganz ruht, dass man aber andererseits sehr wohl im Stande ist, während des Einsaugens von Flüssigkeit in den Mund gleichzeitig durch die Nase zu inspiriren, ohne dass von der flüssigen Substanz irgend etwas in den Kehlkopf hineingeräth, womit sich zugleich zeigt, dass bei diesem Acte die Mundhöhle gegen die Luftwege abgesperrt ist.

IV. Mundsaugen im Allgemeinen.

Es ist nämlich beim Trinken der Erwachsenen wie der Säuglinge, beim Rauchen und vielen anderen Saugacten kleineren Maassstabes im Körper des Saugenden selbst nur die Mundhöhle, in welcher die Luftverdünnung erzeugt wird, und zwar durch die Thätigkeit der in diesem Raume selbst und in seiner näheren Umgebung gelegenen Bewegungsorgane. Wir werden im Folgenden mehrere dabei in Betracht kommende Mechanismen näher untersuchen, die entweder jeder für sich oder combinirt zur Wirksamkeit gelangen. Vorerst aber möchte ich noch eine von mir angestellte allgemeine Ermittelung anführen, betreffend das Maass der Erweiterungsfähigkeit der Mundhöhle beim Saugen und damit auch das maximale Volumen des möglicherweise mit einem Zuge in den Mund Aufzunehmenden. Insofern die Erweiterung dann am Grössten wird ausfallen können, wenn anfangs der möglichst kleinste lufthaltige Hohlraum vorhanden war, so kommt dabei in Betracht, dass bekanntlich [1] bei geschlossenem Munde der Rücken der Zunge meistens fast ganz dem harten und weichen Gaumen anliegt, so dass nur ein minimaler Luftraum über dem Spitzentheil und über der Wurzel der Zunge und eventuell auch nicht dieser vorhanden ist. Es wird also nach der Erweiterung die schliessliche Grösse des Innenraums fast ganz auf Rechnung der Erweiterung selbst zu setzen sein. Die fragliche Grösse ermittelte ich nun einfach dadurch, dass ich eine Anzahl erwachsener Männer bei anfangs an einander geschlossenen Kiefern ein gefülltes Glas Wasser zwischen die Lippen nehmen liess und sie aufforderte, so viel Wasser als möglich in den Mund zu ziehen. Das eingesogene Wasser wurde dann ausgespieen und sein Volumen bestimmt. Die Resultate fielen sehr gleichmässsig aus, nicht bloss bei jeder einzelnen Person

[1] Vergl. Metzger und Donders, Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1875. Bd. X. — Henle, *Handbuch der Eingeweidelehre.* 1866. S. 78 und 79.

sondern auch im Allgemeinen, indem sich die individuellen Maxima nur zwischen 74 und 82 ^{ccm} bewegten, am häufigsten aber sich nur wenig von dem resultirenden Mittel von 77 ^{ccm} entfernten. Ich selbst brachte es gewöhnlich auf 80 und einige Male sogar auf 82 ^{ccm}, wahrscheinlich in Folge meiner durch die Versuche selbst erlangten grösseren Uebung hinsichtlich der vortheilhaftesten Anfangsstellung wie im ausgiebigen Gebrauch der betreffenden Muskeln.

Ganz dieselben Werthe aber erhielt ich sowohl an mir selbst wie an anderen Individuen auch dann, wenn das Wasser nicht unmittelbar in den Mund sondern in einer mit Mundstück versehenen cylindrischen Glasröhre von 33 ^{mm} lichtem Durchmesser in die Höhe gesaugt wurde, in welcher es auf ca. 9 ^{cm} anstieg.

Wenn man hingegen dieselben Versuche mit dem kleineren Heber der Küfer, dem sogenannten Stechheber wiederholt, so fällt das Resultat immer viel niedriger aus und bleibt sogar immer unter der Hälfte zurück. Dieses Minus ist mittelbar verursacht durch die Enge des unteren Theils des Instruments; diese bedingt nämlich ein schwierigeres Aufsteigen des Wassers und eine schliessliche Höhe der Wassersäule von ca. 30 ^{cm}. Unter diesen Umständen wird während des Saugens das kleine Quantum der vorhandenen Innenluft derart verdünnt, dass die Wangen tief eingedrückt werden. Diese Einbuchtung der Wangen vermindert aber den inneren Raum um ein relativ Bedeutendes und kann während des Saugens nicht wieder rückgängig gemacht werden und überhaupt nicht, so lange der Verschluss des Innenraumes andauert; denn die Wangen selbst besitzen, wie oben bewiesen wurde, keine activen Erweiterungsmittel, und ihre Elasticität ist einer Wassersäule von 30 ^{cm} nicht gewachsen. Auch beim inspiratorischen Saugen geschieht ja Aehnliches; es ist aber dann die hierdurch verursachte Raumverminderung verschwindend klein im Verhältniss zu der grossen Menge der Lungenluft und der noch grösseren der gesammten Innenluft und kann deshalb den Erfolg nicht merklich beeinträchtigen. Ganz anders wieder liegen die Verhältnisse beim Mund-Saugen an Manometerröhren mit deren geringer Lichtung; unter dieser Bedingung wird, wie ich das später noch genauer besprechen werde, in der Mundhöhle ein kleiner und derartig begrenzter Saugraum gebildet, dass weder die Wangen noch das Gaumensegel in ihn eindringen können, und es werden dann die grössten hydrostatischen Widerstände überwältigt. In unserm jetzigen Falle des Mundsaugens hingegen, und in allen ähnlichen, in denen es auf ein möglichst grosses Volumen angesaugter Substanz abgesehen ist, muss ja der Versuch gemacht werden, möglichst den ganzen Raum der Mundhöhle auszunützen, und wenn dabei ein grösserer hydrostatischer Widerstand sich entwickelt, so hat das eben zur Folge, dass die biegsamen Theile der

Mundhöhlenwandung sich einstülpen und damit, wie wir sahen, reichlich die Hälfte der Anstrengung unnütz machen. Diese im zweiten Abschnitte schon im Allgemeinen charakterisirte Nebenwirkung ist in solchen besonderen Fällen messbar und durch dieses Maass ihre Bedeutung noch mehr veranschaulicht.

Wo aber eine solche Beeinträchtigung des Erfolges vermieden wird, kann nach Obigem die Raumbildung zum Einsaugen von Flüssigkeit in der Mundhöhle erwachsener Männer 77 und in einzelnen Fällen bis 82 ccm erreichen.

An dieser Leistung sind aber zwei der im Folgenden zu besprechenden, von einander unabhängigen Factoren in combinirter Weise betheiligt, und wir werden den Antheil, den jeder derselben am Gesammterfolge hat, bestimmen können.

V. Herabziehen des Unterkiefers.

Das einfachste und primitivste Mittel nun, die Mundhöhle zu erweitern, ist das, dass bei versperrter Mundöffnung der Unterkiefer abwärts bewegt wird, wobei er die ihm mittelbar adhaerirende Zunge mitnimmt und so den freien Innenraum der Mundhöhle, d. h. den Raum zwischen Zungenrücken und Gaumen vergrössert oder eventuell durch Losreissen der Zunge vom Gaumen neu schafft. Letzteres erfolgt, falls Luft eintritt, meist plötzlich mit einem Geräusch, ähnlich dem beim gewöhnlichen Schnalzen, während tropfbare Flüssigkeiten, um die es sich ja meistens handelt, geräuschlos in den neu hergestellten Raum eindringen.

Als primitives Saugverfahren kann und muss man diesen einfachen, durch nichts Anderes wesentlich unterstützten Mechanismus deshalb bezeichnen, weil er der erste ist, welchen das neugeborene Kind anwendet, übrigens auch während des grösseren Theils des Säuglingsalters als ausschliessliches und noch lange nachher als vorherrschendes Mittel zum Saugen verwendet. Mit Recht hat sich schon vor einigen Jahren Vierordt[1] nach Studien an Säuglingen in diesem Sinne, und zwar sehr exclusiv ausgesprochen, indem er schrieb: „Die nothwendige Luftverdünnung wird allein durch eine Abwärtsbewegung des Unterkiefers hergestellt, welche die Mundhöhle im senkrechten Durchmesser ausgiebig vergrössert.“ Für das Kindes- und besonders das Säuglingsalter muss ich nun diese Ansicht nach eigenen Beobachtungen als im Wesentlichen zutreffend anerkennen. Insofern jedoch dieselbe Ansicht auf das Saugen der Erwachsenen angewandt wird — und

[1] A. a. O. Vgl. die Anm. auf S. 60.

das ist nicht selten der Fall[1] — muss ich sie als unhaltbar bezeichnen, und selbst für das Kindesalter bedarf die Darstellung Vierordt's einer gewissen Einschränkung. Nach meinen bezüglichen Erfahrungen ist sie ganz richtig für Säuglinge in den ersten vier bis fünf Lebensmonaten; wenigstens kann man aus dem Fehlen gewisser, weiter unten zu beschreibenden Erscheinungen mit gutem Grunde schliessen, dass eben nur die sichtbare Bewegung des Unterkiefers eine Rolle spielt. Annähernd eben so verhält sich aber die Sache noch im späteren Säuglingsalter, und auch bei Kindern im zweiten und selbst im dritten Lebensjahre kann man, wenn sie trinken, sei es aus einer Saugflasche oder einem offenen Gefässe, noch vielfach das lebhafte und kräftige Spiel des Unterkiefers beobachten. Zu diesem aber gesellt sich immer deutlicher ein anderer Mechanismus und gewinnt allmählich die Oberhand, während die Mitbewegung des Unterkiefers geringer wird und sich schliesslich derart verliert, dass sie für gewöhnlich ganz ausfällt. Der erwachsene Mensch vermeidet möglichst, namentlich auch beim Trinken, wenn dieses in gemessener und sittsamer Weise geschieht, die Mitbenutung des Unterkiefers. Dass er diese ganz entbehren kann, beweisen am Besten die Fälle, wo das Saugobject zwischen den Zähnen gehalten wird, wie so häufig beim Rauchen. Nur zu besonderer Verstärkung des Effects, wenn die Absicht bestimmend ist, mit einem Zuge möglichst viel in den Mund einzuziehen, wird jenes Hülfsmittel zuweilen noch hinzugefügt.

Das Plus aber, welches damit gewonnen wird, ist nicht so gross, wie man vielleicht vermuthen könnte. Direct lässt sich die bezügliche Leistung der Unterkieferbewegung hinsichtlich des Volumens nicht bestimmen, weil beim Erwachsenen sich zu leicht gewohnheitsmässig eine Mitwirkung anderer Saugorgane des Mundes einmischt. Wohl aber lässt sich die Unterkieferbewegung unter Umständen sicher und vollständig eliminiren und so indirect die fragliche Grösse ermitteln. Indem ich diese Modification in die beiden im vorigen Abschnitte beschriebenen Verfahrungsarten, die Erweiterung der Mundhöhle zu messen, einführte, konnte ich vergleichbare Ergebnisse erhalten. Ich liess nämlich eine Anzahl Personen mit oberen, vorderen Zahnlücken unter Feststellung des Unterkiefers in seiner an die

---

[1] Nachträglich finde ich, dass schon vor Vierordt's Publication Biedert in seinen oben erwähnten Abhandlungen ganz dieselbe Ansicht mit Anwendung auf erwachsene Personen, dass also ausschliesslich Herabziehung des Unterkiefers die Luftverdünnung beim Mundsaugen bewirke, sehr bestimmt und wiederholt ausgesprochen und daraus auch praktische Consequenzen gezogen hat, auf die ich im letzten Abschnitte dieser Abhandlung noch zurückkomme. — Auch in dem anderweitig gebrauchten Ausdruck: „Senkung des Mundbodens“ kann diese wohl nur als durch den Unterkiefer vermittelt verstanden werden.

oberen Zähne angepressten Lage Wasser in den Mund, oder andere Male in die 33 mm weite Röhre einsaugen, mit der Aufforderung, das Möglichste zu leisten. Zur Innehaltung des Kieferschlusses genügen bei der Selbstbeobachtung und bei intelligenten Versuchspersonen guter Wille und Aufmerksamkeit; bei anderen, weniger zuverlässig erscheinenden Personen sicherte ich die Erreichung des Zwecks durch Stützung ihres Unterkiefers von unten her mit meiner Hand. Die Differenz des so erzielten Quantums von demjenigen Maximum, das dieselbe Person unter Mitbenutzung des Unterkiefers erreichen kann, ist als Beitrag des letzteren anzusehen. Eine Täuschung durch Einmischung inspiratorischen Saugens ist nicht zu fürchten. Und zwar ist dieses beim Einsaugen der Flüssigkeit direct in den Mund *eo ipso* ausgeschlossen, was schon oben und noch mehr im weiteren Verlaufe dieser Darstellung genügend begründet ist. Bei Parallelversuchen mit der Saugröhre ist die Sache so, dass im Falle reinen Mundsaugens die gehobenen Quanta mit den auf die erstere Weise erhaltenen übereinstimmen, während, wenn aus Versehen im Geringsten inspiratorisches Saugen sich beimischt, sofort das aufsteigende Wasser weit über das erwartete Ziel hinausschiesst und leicht mehrere 100 ccm erreicht, falls die Röhre lang genug ist, so dass ein solcher Versuch sofort als verfehlt zu erkennen ist.

Die Ergebnisse dieser Versuche nun fielen überraschend gleichmässig aus. Es zeigte sich durchweg, dass bei derartiger Feststellung des Unterkiefers immer noch erheblich mehr als die Hälfte des bei seiner freien Mitbewegung zu erreichenden Maximums angesaugt wurde. Genauer bestimmt waren es immer annähernd $^5/_8$ der letzteren Grösse, bei mir selbst z. B. 50 ccm. Im Allgemeinen beträgt also der Beitrag der Unterkieferbewegung nur $^3/_8$ der Gesammtleistung, während der grössere Rest durch die Thätigkeit anderer benachbarter Organe geliefert wird.

Es ist hiernach um so leichter erklärlich, weshalb der heranwachsende Mensch sich jene kindliche Art des Trinkens abgewöhnt. Es mag für ihn dazu ausser einem aesthetischen Motive, der Empfindung des Unschönen jenes Auf- und Niederklappens des Unterkiefers, wesentlich noch die Erfahrung bestimmend sein, dass ihm ein anderer, wirksamerer Mechanismus zur Verfügung steht.

VI. Stempelartige Bewegung der Zunge.

Zu einem solchen soll nun nach einer vielfach gehegten Ansicht die Zunge durch eine rückwärts gerichtete, also in sagittaler Richtung nach hinten gehende Bewegung dienen, wobei diese Art ihrer Thätigkeit mit derjenigen eines Spritzenstempels beim Einziehen der

Flüssigkeit in die Spritze oder mit derjenigen des Kolbens einer Saugpumpe verglichen wird. Dabei würde also der luftverdünnte Raum als vor der Zunge, zwischen ihrer Spitze und den Zähnen entstehend zu denken sein. Seit einem halben Jahrhundert oder länger spielt diese Vorstellung in der physiologischen Litteratur eine Rolle und zwar öfters als ausschliessliche oder doch hauptsächliche Erklärung des Saugens,[1] und auch bei den Praktikern ist sie sehr gewöhnlich anzutreffen.

Dennoch ist sie im Allgemeinen nicht richtig und trifft auch für einzelne besondere Fälle nicht gerade das Wesentliche. Bei einer gewissen Art Süssigkeiten zu kosten und ähnlichen kleinen Gelegenheiten kommt wohl ein gewisses Zurückziehen der Zungenspitze vor; beim gewöhnlichen Saugen hingegen, beim Trinken und Rauchen sagt uns unser Muskelgefühl nichts von einem so gearteten Spiel der Zunge. Und wenn wir bedenken, wie gering die Excursion ist, welche die Zungenspitze von den Zähnen ab nach hinten zu machen vermag, so will diese Vorstellung auch nicht stimmen mit der Grösse der zu erklärenden Leistung, nämlich mit den 45—50 ^{ccm} einzusaugender Flüssigkeit. Uebrigens ist es leicht, sich von Folgendem zu überzeugen. Man kann bei leicht geschlossenen Lippen die Zunge kräftig nach hinten ziehen, ohne dass sich die geringste Saugwirkung auf die Lippen oder Wangen bemerkbar macht, und wenn bei einem solchen Versuch die etwas geöffneten Lippen in Wasser tauchen, ohne dass von diesem das Geringste in den Mund eintritt. Wenn einmal Letzteres oder überhaupt irgend eine Saugwirkung dennoch erfolgt, so hat sich mit der Zurückziehung der Zungenspitze eine andersartige Bewegung verbunden, welche das Wesentliche ist und der ersteren zur Begleitung nicht bedarf. Es ist ja auch klar, dass die Zurückziehung so lange gar keine Saugwirkung ausüben kann, als sie nur in einer Gestaltveränderung des freien Theils der Zunge besteht, da diese an sich wiederum nur eine Formveränderung, aber keine Vergrösserung des Luftraumes der Mundhöhle bedingen kann. Und aus demselben Grunde kann sie auch da, wo sie sich hinzufindet, kaum etwas zur Verstärkung des Effects beitragen, bleibt deshalb auch gerade bei ordentlichem kräftigem Saugen gänzlich aus, was

[1] Zum Belege für die weite Verbreitung und Ausdauer dieser Meinung führe ich zwei Stellen aus ausländischen Werken an. In Alison's *Outlines of human physiology,* 1839 heisst es: „The act of suction, in which by .... moving the tongue backwards and forwards after the manner of a piston, or by acts of inspiration, or by these two movements together, we cause the pressure of the atmosphere to urge fluids into the mouth. — Ferner in Beaunis: *Nouveaux Éléments de Physiologie humaine,* 1876: „La cavité buccale joue le rôle d'un corps de pompe, dont la langue constitue le piston. La partie antérieure de la langue se porte en arrière, en faisant le vide autour du mamelon." — Aber auch in einzelnen sonst vortrefflichen deutschen Lehrbüchern der letzten Jahre ist dieselbe Ansicht vertreten.

uns nicht bloss unsere Empfindung lehrt, sondern auch objectiv, und zwar durch ein weiter unten zu beschreibendes Hülfsmittel, das die bezüglichen Vorgänge direct dem Auge wahrnehmbar macht, leicht zu bestätigen und zweifellos festzustellen ist.

VII. Die Darstellung von Donders und der wahre Ort des Saugraumes.

Rückwärtsbewegung der Zunge bildet nun auch einen wesentlichen Bestandtheil der von Donders im Jahre 1875 entwickelten Theorie des Saugens,[1] welche sich indessen von der eben besprochenen wesentlich unterscheidet hinsichtlich der angenommenen Lage des Saugraumes, d. h. desjenigen Raumes, in welchem und durch dessen Erweiterung die wirksame Luftverdünnung erzeugt werden soll. Auch sonst enthält die Darstellung von Donders mehreres Eigenthümliche und in methodologischer Hinsicht Interessante.

Donders geht von der Thatsache aus, dass bei geschlossenem Munde die gewölbte obere Fläche der Zunge dem harten Gaumen dicht anliegt und adhaerirt und dass auch der freie Rand des senkrecht herabhängenden Gaumensegels der Zungenbasis angeschmiegt ist, ein Zustand, in welchem nach der Hervorhebung Metzger's[2] der äussere Luftdruck selbst den

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. X.

[2] *Ebenda.* Die weitergehende Meinung Metzger's, dass die Heber des Unterkiefers überhaupt nicht im Stande seien, das Gewicht des letzteren dauernd zu tragen, dürfte in ihrer allgemeinen Fassung doch übertrieben sein. Der Autor begründet sie zwar mit der Behauptung, dass bei nur etwas geöffneten Lippen die Kaumuskeln sehr schnell ermüden und unwillkürliche Contractionen machen; dies widerstreitet jedoch der bekannten Thatsache, dass es Menschen genug giebt, die gewohnheitsmässig den Mund immer etwas geöffnet halten, so dass die Athmungsluft fortwährend durchstreicht und zu derselben Haltung ist man immer gezwungen, wenn durch Schnupfen oder sonstwie die Nasengänge verstopft sind. In diesen Fällen kann der Luftdruck zur Unterstützung des Unterkiefers nichts beitragen; dennoch erhält sich dieser ohne aussergewöhnliche Muskelanstrengung in einer dem Oberkiefer genäherten Stellung und zwar derselben, die auch bei geschlossenen Lippen gewöhnlich obwaltet. Daraus folgt, dass bei gesunden, vollkräftigen Menschen die Elasticität und eine Art Tonus der Kaumuskeln wohl ausreichend sind, das Gewicht des Unterkiefers zu halten. Ein den Beweis ergänzendes Gegenstück hierzu bieten sodann marastische Greise und andere geschwächte Personen dar, bei denen, wenn sie aufrecht sitzend ermatten oder einschlummern, also die Innervation der Muskeln nachlässt, der Mund sich weit öffnet und der Unterkiefer tief herabsinkt. Bei manchen Greisen könnte hierzu eine gewisse Atrophie der Zunge und Lippen beitragen, welche die Berührung der Theile erschwert. Jedoch können dieselben Personen, so lange sie wach und munter sind, oftmals ihren Mund lange genug geschlossen halten, was dann nur durch eine Innervation von den Centralorganen aus erklärlich ist. — Trotzdem will ich nicht bestreiten, dass unter Umständen Adhaesion und Luftdruck die Muskelthätigkeit unterstützen und eventuell für diese vicariirend eintreten können.

Mund geschlossen halten und den Unterkiefer tragen soll, ohne dass Muskelthätigkeit hierzu nöthig wäre. Nur zwischen dem hinteren Theile der oberen Fläche der Zunge und dem Gaumensegel bleibt nach Donders ein Spaltraum frei, dessen Luft verdünnt ist (wohl in Folge des Zuges, den Unterkiefer und Zunge auf ihn ausüben). Diesen Raum nennt Donders den hinteren Saugraum und schreibt die Hauptrolle der Erweiterung desselben zu, welche letztere durch eine Rückwärtsbewegung der Zunge bewirkt werde. Einige Sätze dieser Darstellung seien hier nach ihrem Wortlaute angeführt: „Während der Mund auf die gewöhnliche Weise geschlossen ist, lässt sich ein plattes Mundstück, das durch ein elastisches Rohr mit einem Manometer verbunden ist, zwischen Lippen und Zähnen über der Zunge hinführen bis in die Nähe des weichen Gaumens. Dabei überzeugt man sich stets, dass in dem Raum zwischen der Zunge, die gegen den harten Gaumen anliegt und dem weichen Gaumen, der über der Zungenwurzel ausgespannt ist, ein negativer Druck von 2—4 ^{mm} Hg besteht. . . . . Auch nach vorn ist dieser Saugraum ganz abgeschlossen, und zwar durch die Zunge. Man kann den Mund öffnen, Lippen und Kiefer von einander bringen, und man fühlt deutlich, dass die Zunge dann gegen den weichen Gaumen angesogen liegt. Diese Ansaugung kann man nun willkürlich verstärken, wenn man die Zunge erst platt, dann mit der Spitze nach hinten gebogen zurückzieht. . . . . Streckt sich über der Zunge ein Körper in den Saugraum hinein, so wird er nach hinten gezogen, und ist er durchbohrt, so kann dadurch Flüssigkeit in den Saugraum eingezogen werden. Die Vergrösserung des Saugraumes geschieht durch actives Zurückziehen der Zungenwurzel, bemerklich an einer äusseren Schwellung über dem Zungenbein. Das ist die Hauptsache beim Mechanismus des Saugens. Man kann dabei einen negativen Druck von mehr als 100 ^{mm} Hg entwickeln.“ — Donders nimmt dann weiterhin, wenigstens als virtuell vorhanden und gelegentlich wirksam noch einen zweiten Saugraum an, den er als vorderen bezeichnet; und zwar ist dies der Unterzungenraum. „An zweiter Stelle kann man das Mundstück zwischen Lippen und Zähnen unter der Zunge einführen. Sorgt man dafür, dass dabei alle weitere Muskelwirkung ausgeschlossen ist, dann zeigt das Manometer durchaus keine Veränderung. Die Wahrheit ist, dass dann so gut wie kein Raum vorhanden ist. . . . . Man kann nun willkürlich die Lippen stärker ansaugen und hört dabei, wenn man sie nicht zu fest gegen einander presst, etwas Luft zwischen den Lippen eindringen. Bei diesem Ansaugen wird der vordere Theil der Zunge nach hinten gezogen. Dann bildet sich wirklich zwischen der Unterfläche der Zunge, dem Boden der Mundhöhle und den Lippen ein vorderer Saugraum. Um diesen entstehen zu lassen und das Ansaugen der Lippen gewahr zu werden, genügt es, dass man bei auf gewöhnliche Weise geschlossenem Munde willkürlich die

Zunge nach hinten bringt. Bringt man die Zähne dabei etwas aus einander, dann werden die Lippen dazwischen selbst nach innen umgebogen."[1] — Ueber die gegenseitigen Beziehungen der beiden Räume äussert sich der Autor folgendermaassen: „Die beiden Saugräume wirken unter Umständen auch gleichzeitig, während sie durch die Zunge getrennt bleiben. Dies kommt u. A. vor, wenn man im Bereich des vorderen Saugraumes localisirt zu saugen beabsichtigt. So kann man an jedem Zahn, an jeder Stelle der Innenfläche der Lippen saugen. Endlich wirken die beiden Saugräume auch als ein Ganzes; dies kommt beim Tabakrauchen und während des Schlafes vor. . . . ." Auch für diese gemeinschaftliche Wirksamkeit seiner beiden Saugräume nimmt Donders vorzugsweise die Thätigkeit des M. hyoglossus, des Rückwärtsziehers der Zunge in Anspruch, welchen er allein von allen der Zunge angehörigen oder zu ihr in Beziehung stehenden Muskeln namhaft macht.

Diese Arbeit des hervorragenden Forschers hat gewiss das Verdienst, die erste gewesen und seitdem die einzige geblieben zu sein, welche nach wissenschaftlicher Methode in einigermaassen umfassender Weise auf den Gegenstand einging und auf positive Erklärung des Vorganges hinzielte.[2] Eben deshalb und wegen der persönlichen Bedeutung ihres Autors konnte sie nicht verfehlen zu imponiren. Ohne gerade allgemein berücksichtigt zu werden, wurde doch die darin begründete Anschauungsweise mehrfach acceptirt oder wenigstens in den Vordergrund der bezüglichen Ansichten gestellt. Irgend eine erneute, sei es experimentelle oder kritische Prüfung derselben ist hingegen meines Wissens nicht hervorgetreten.

Nach meinen eigenen Studien in dieser Sache bin ich aber meinerseits nicht in der Lage, die Donders'sche Lehre in den Hauptpunkten als zutreffend oder auch nur als in sich haltbar ansehen zu können. Zwar die Richtigkeit der Mehrzahl der ihr zu Grunde liegenden Beobachtungen bin ich weit entfernt anfechten zu wollen, habe diese vielmehr grossentheils selbst bestätigen können. Allein ausser, dass mehrere dieser Thatsachen doch einer anderen Auffassung ihres Zustandekommens bedürfen, so ist das, was ich hauptsächlich bestreiten muss, ihre Anwendbarkeit auf die Erklärung des gewöhnlichen, so wichtigen Modus des Saugens, wie er bald nach dem Säuglingsalter sich entwickelt und ebenso beim Trinken, wie beim Aussaugen poröser feuchter Körper, wie bei der Benutzung von Saugröhren zur Anwendung kommt. Was Donders beschrieben hat, das sind meines

---

[1] Vgl. meine oben im vorigen Abschnitte kundgegebenen gegentheiligen Beobachtungen.

[2] Die früher erwähnte experimentelle Untersuchung von Poncet hatte nur die Tendenz und den Erfolg der Ausschliessung eines vermeintlichen Factors, nämlich der Inspiration als Hülfsmittel beim Trinken.

Erachtens theils unter unnatürlichen Bedingungen herbeigeführte Erscheinungen, theils nur selten vorkommende kleine Saugbewegungen besonderer Art, sämmtlich verschieden von dem, was bei ordentlichem ausgiebigen Saugen geschieht und geschehen muss.

Zunächst kann es fraglich erscheinen, ob Donders' hinterer Saugraum jemals praeexistirt oder nicht vielmehr erst durch die Art seines Experimentirens künstlich geschaffen wurde. Letzteres würde voraussetzen, dass bei geschlossenem Munde gewöhnlich die Zunge auch dem weichen Gaumen dicht anliegt, eine Annahme, welcher eigentlich alle vorliegenden anatomischen Abbildungen nach medianen Durchschnitten des Kopfes günstig sind. Denken wir uns nun diese Lage der Theile und jetzt ein Mundstück nach Donders eingeführt, so wird dieses nothwendig die Zunge vom Gaumen ablösen und zwar die hintere dicke und weniger schmiegsame Gegend der Zunge in weiterer Ausdehnung, als seiner eigenen Grösse entspricht, abdrängen und so mechanisch einen Raum schaffen, in welchen etwas Luft aus dem Manometer eindringen wird, wobei diese natürlich etwas verdünnt werden muss. So würde sich mit der Entstehung dieses Raumes zugleich sein Gehalt an verdünnter Luft auf's Einfachste erklären. Dazu kommt noch, dass der mechanische Reiz des fremden Körpers auf die zu Reflexwirkungen geneigte Schleimhaut jener Gegend leicht unwillkürliche Bewegungen hervorruft; Zunge und Gaumensegel weichen dem Instrumente aus durch Bewegungen, die den mechanisch gebildeten Raum noch vergrössern und die Luft darin noch weiter verdünnen. So kann jedenfalls künstlich ein hinterer Saugraum erzeugt und eventuell eine schon vorhandene Spalte erweitert werden, ohne dass wir berechtigt wären, einen Gehalt an verdünnter Luft als durch den Zug des Unterkiefers bedingt und normal praeexistirend anzunehmen. Für die eigentliche Frage der Mechanik des Saugens ist dieser Punkt freilich überhaupt ohne Belang.

Nehmen wir nun aber an, es sei im Beginne des Saugens ein solcher hinterer Raum vorhanden, so müssen wir uns doch weiterhin fragen, wieso derselbe gerade durch eine Rückwärtsbewegung der Zunge erweitert werden soll. Mir ist dies unerfindlich; vielmehr kann ich mir nur das Gegentheil vorstellen, nämlich, dass durch eine solche Bewegung der hintere Theil der Zunge dem herabhängenden Gaumensegel genähert wird. Eine Erweiterung des Zwischenraums kann ich mir nur durch eine nach vorn und unten gerichtete Bewegung des hinteren Theiles der Zunge vermittelt denken. Und dass eine solche in der That beim Saugen erfolgt, werde ich später nachweisen.

Es werde nun aber auf irgend welche Weise der geschlossene „hintere Saugraum“ erweitert, so ist doch wieder nicht abzusehen, wie dies auf eine vorn zwischen den Lippen befindliche Flüssigkeit oder Röhre ansaugend

sollte wirken können, da ja die dem Gaumen adhaerirende Zunge dazwischen liegt. Wenn beobachtet worden ist, dass an einer bis in den hinteren Raum durchgestossenen Röhre sich Saugwirkungen geltend machen können, so ist das gewiss ganz richtig; aber dies ist keine Nachahmung eines naturgemässen Vorganges. An einer Röhre kann man saugen, wenn man dieselbe nur zwischen die Lippen nimmt, ohne dass sie auch nur die Zungenspitze berührt, obwohl sie öfter ein wenig über letztere hinweggeschoben wird, jedoch nie bis zum weichen Gaumen. Aehnlich ist die Lage der Brustwarze im Munde des saugenden Kindes. Und beim Trinken befindet sich die Flüssigkeit vor Beginn des Saugacts nur vorn zwischen den Lippen und wird von hier aus in den Mund hineingezogen. In allen diesen Fällen ist aber der etwa vorhandene hintere Raum durch die dem Gaumen anliegende Wölbung der Zunge nach vorn hin abgesperrt; es kann also auch die Verdünnung seiner Innenluft nicht saugend auf eine vorn zwischen den Lippen und über der Zungenspitze befindliche Substanz wirken. Zu diesem Zwecke müsste erst die ganze Zunge vom Gaumen abgelöst werden; dann aber könnte man doch kaum noch von einem wirksamen hinteren Saugraum sprechen. Auch müsste, da der Process von hinten ausgeht, der Vorgang der Ablösung von hinten nach vorn fortschreiten. Thatsächlich ist aber das gerade Gegentheil der Fall, mindestens hinsichtlich der vorderen zwei Drittel der Zunge. Eine Ablösung findet statt, jedoch vorn über der Zungenspitze beginnend und nach hinten bis zum Gipfel der Zungenwölbung weitergehend, nur in seltenen Fällen diesen überschreitend, um sich mit einer hinteren Ablösung zu combiniren. Auf spätere, mittels des Gesichtssinnes zu machende Beobachtungen verweisend, will ich hier zunächst nur einige Thatsachen anführen, die sich in Selbstbeobachtung durch das Tast- und Muskelgefühl der Mundorgane unschwer erkennen lassen. Wenn man aus einem offenen Gefässe einige Gramm Flüssigkeit in den Mund saugt, so fühlt man, wie zunächst nur ein ganz kleiner vorderster Theil der Zunge sich von dem Alveolarfortsatze des Oberkiefers und einem benachbarten schmalen Streifen des harten Gaumens nach unten hin entfernt, und wie in den so entstehenden Raum das Wasser eindringt; die Wölbung der Zunge kann dabei fest an den Gaumen angeschlossen bleiben. Je mehr man einsaugt, desto mehr dehnt sich der genannte neugebildete Raum nach hinten aus und vertieft sich dabei nach unten. Man kann schon einen gehörigen Schluck Wasser auf diese Art in den Mund ziehen, ohne dass auch nur ein Tropfen die Berührung des Gipfels der Zunge mit dem Gaumen durchbricht und in die Gegend der Zungenwurzel vordringt. Regulär geschieht letzteres überhaupt nicht während des Saugens von tropfbaren Flüssigkeiten; vielmehr wird zur Verhütung dieses Ereignisses instinctiv der

Gipfel der Zunge besonders fest an den Gaumen angedrückt, weil ein nach hinten überlaufender Theil der Flüssigkeit sofort reflectorisch eine Schluckbewegung auslöst, welche sich mit einem gleichzeitigen Saugacte nicht verträgt, deshalb unregelmässig wird und leicht von unangenehmen Nebenerscheinungen, wie Eindringen der Flüssigkeit in den Kehlkopf begleitet ist. Beim Trinken alterniren ja bekanntlich die Saug- und Schluckbewegungen; der Saugact wird unterbrochen und dann das in der vorderen Hälfte der Mundhöhle angesammelte Quantum gleichsam als ein Ganzes, ein richtiger Schluck mittels der Zunge unter Lüftung ihres Anschlusses an den Gaumen nach hinten gedrängt, um hier einer regulären unwillkürlichen Schlingbewegung zu verfallen. Diese Lage des Saugraumes und seine hintere Absperrung durch die Zungenwölbung finden übrigens statt, gleichviel ob das Einsaugen der Flüssigkeit durch eine eigene Bewegung der Zunge oder durch Herabziehen des Unterkiefers oder durch beides zugleich bewerkstelligt wird, und es ist deshalb das Nämliche auch beim Säuglinge vorauszusetzen, obwohl die Brustwarze oft ziemlich tief in den Mund hinein reicht, da sonst ein regelrechtes Schlucken nicht möglich wäre. Das zuweilen vorkommende Falsch-Schlucken („sich verschlucken“) dürfte gerade durch ein Verfehlen dieses Verhältnisses herbeigeführt werden.

Auch bei der Aspiration atmosphaerischer Luft durch die Mundorgane, wie solche z. B. bei der Benutzung einer Saugröhre so lange stattfindet, als in dieser die Flüssigkeit noch nicht bis an ihr oberes Ende aufgestiegen ist, geht die Bildung des Saugraumes anfangs an derselben Stelle und auf dieselbe Weise vor sich, wie ich es für tropfbare Flüssigkeiten beschrieben habe; jedoch ist bei der Toleranz der hinteren Schleimhautpartien gegen Luft die erwähnte Absperrung und die Beschränkung des Saugraums auf die vordere Hälfte der Mundhöhle nicht nöthig, und dieser dehnt sich deshalb eventuell über den Berg der Zunge hinweg bis zu ihrer Basis hin aus. Aehnlich geschieht es zuweilen beim Rauchen, wenigstens solcher Personen, deren Schleimhaut gegen den Reiz des Rauches schon abgestumpft ist.

In allen diesen hervorragenden, in erster Linie zu betrachtenden Fällen des Saugens bildet sich also der wirkliche Saugraum nicht an den von Donders bezeichneten Stellen, sondern unter dem harten Gaumen, und zwar anfangs ganz vorn oberhalb der Zungenspitze, um sich von hier aus mehr oder weniger nach hinten auszubreiten. Beim Trinken aber und beim Einsaugen tropfbarer Flüssigkeiten überhaupt bleibt es definitiv bei dem beschriebenen, durch die Zungenwölbung nach hinten abgeschlossenen, vorderen oberen Saugraume, so zu benennen zum Unterschiede von Donders' vorderem Saugraume, der unter der Zunge liegt und dem ersteren gegenüber als vorderer unterer zu bezeichnen wäre.

Was nun diesen letzteren anlangt, so spielt derselbe, wie ich mich überzeugt habe, in den für das Leben wichtigen Saugmechanismen keine Rolle. Die etwa an ihm zu beobachtenden und wirklich oder scheinbar in ihm erzeugten kleinen Saugeffecte betreffen nur besondere Nebenformen des Saugens, welche, wenn sie nicht *experimenti causa* herbeigeführt werden, allenfalls einmal zur Entfernung eines Speiserestes aus einer unteren Zahnspalte oder Aehnlichem benutzt werden oder auch nur dem Geberdenspiel angehören, hingegen bei der Aufnahme flüssiger oder gasförmiger Substanzen in die Mundhöhle nicht concurriren, eine Behauptung, die ich durch Versuche belegen kann. Wäre dabei der Unterzungenraum mit wirksam, so müsste etwas von den eingezogenen Substanzen in denselben eindringen. Dies ist jedoch für gewöhnlich durchaus nicht der Fall. Trinke ich, mit einem Streifen Fliesspapier unter der Zunge, ein Glas Blaubeer-Abkochung aus, welche die bespülten Mundtheile tief färbt, so bleibt doch von dieser Tingirung der Unterzungenraum verschont, und das vorsichtig hervorgezogene Fliesspapier zeigt keine Spur von Färbung, ebenso nicht, so oft ich diesen Versuch an anderen Personen wiederholte. Wenn man es freilich will, kann man absichtlich die Flüssigkeit auch in den Unterzungenraum eintreten machen, ohne dass es jedoch dazu einer besonderen, in diesem Raume selbst erzeugten Luftverdünnung bedarf. Es genügt, vor Beginn des Saugacts die Zungenspitze über die unteren Zähne zu erheben, so dass eine Eingangspforte zum Unterzungenraum offen bleibt und dieser über die Ränder der Zunge hinweg mit dem oberen Saugraume communiciren kann; bei der Herstellung des letzteren nimmt dann die einströmende Flüssigkeit ihren Weg zum Theil auch in den Unterzungenraum und durch diesen über den Zungenrand hinweg nach oben. Aber diese Eröffnung des Unterzungenraumes hat natürlich keine Verstärkung des Saugeffects zur Folge, da sie ja vor Beginn des eigentlichen Saugactes erfolgt.

Ganz ähnlich verhält es sich aber auch beim Einsaugen von Gasen durch die Mundorgane; und so fest bleibt bei der gewöhnlich dem Menschen eignen Art des Mundsaugens der Unterzungenraum verschlossen, dass selbst von einem so diffusibeln Gase, wie es Schwefelwasserstoff ist, nichts in denselben eindringt. Ich legte einen mit essigsaurer Bleilösung getränkten Streifen Fliesspapier unter die Zunge, einen zweiten auf den vorderen Theil derselben oder an den harten Gaumen, sog dann durch eine Röhre aus einer geeigneten Flasche eine reichliche Portion SH-haltiger Luft in den Mund, stiess dieselbe durch Expiration wieder aus und wiederholte dies noch eine Reihe von Malen. So oft ich nun diesen Versuch anstellte, so zeigte jedesmal nach Beendigung desselben das obere Papier eine tief braune oder schwarze, das untere hingegen auch nicht eine Spur von Färbung. Und zwar war es gleichgiltig, ob ich die Saugröhre auf den vorderen Theil

der Zunge gelegt oder sie nur zwischen die vorgestreckten Lippen genommen hatte. Auf meinen Wunsch wiederholten noch zwei Personen die nämlichen Versuche und mit ganz demselben Ergebnisse.

Diese Resultate hatte ich aber mit Sicherheit vorausgesehen, weil der freie Theil der Zunge nicht bloss im Ruhezustande dem Boden der Mundhöhle und den Alveolarrändern des Unterkiefers dicht anliegt, sondern durch seine bald zu beschreibende Saugbewegung noch fester an seine Unterlage angedrückt werden muss.

Anderes nun wird man auch nicht beim Tabakrauchen voraussetzen, da ja bei diesem ganz dieselben mechanischen Verhältnisse obwalten, und da überdies bei dem Fehlen jeder Geschmacksempfindung im Unterzungenraum kein Motiv ersichtlich ist, welches bestimmen sollte, durch eine ungewöhnliche Haltung der Zunge den Rauch unter dieselbe eintreten zu lassen. Wenn gleichwohl Donders für das Tabakrauchen eine Mitwirkung des Unterzungenraumes behauptet, so finde ich doch nicht angegeben, worauf er seine Meinung gründet. Es giebt allerdings eine Thatsache, welche leicht irre führen kann. Lässt man Jemanden Rauch einziehen, dann den Mund öffnen und die Zunge in die Höhe heben, so dringt auch aus dem Unterzungenraume Rauch hervor; bei genauerem Zusehen überzeugt man sich aber, dass erst während des nachträglichen Aufhebens der Zunge ein Theil des Rauchs von oben her um die Seitenränder der Zunge herum nach unten eindringt. Darum findet man auch, wenn man nach Oeffnung des Mundes zunächst den Rauch durch Expiration ausstossen und dann den Unterzungenraum öffnen lässt, in diesem keine Spur von Rauch.

Aus Allem aber folgt zur Genüge, dass für den Säugling wie für den Erwachsenen, für das Trinken und Rauchen, überhaupt für die Aufnahme flüssiger wie gasförmiger Stoffe, mit oder ohne Röhre, wesentlich nur der von mir bezeichnete vordere-obere, d. h. ein ganz vorn hinter den oberen Schneidezähnen entstehender und von hier aus längs des Gaumens mehr oder weniger nach hinten hin sich vergrössernder Saugraum in Betracht kommt.

Nachdem dies festgestellt ist, werden wir uns jetzt in den Mechanismus dieses Vorgangs, in soweit er durch etwas Anderes als die Unterkieferbewegung herbeigeführt wird, einen näheren Einblick zu verschaffen suchen.

VIII. Der Mechanismus des Zungensaugens.

In dieser Beziehung möchte ich zunächst die Aufmerksamkeit auf eine Reihe zugehöriger und wesentlicher Thatsachen lenken, die überdies, äusserlich hervortretend, leicht genug zu beobachten, gleichwohl aber, so viel ich finden kann, bisher nirgends erwähnt sind. Man kann dieselben an jedem trinkenden oder noch bequemer an rauchenden Individuen wahrnehmen,

wenn man die gesammte vordere Halsgegend in's Auge fasst, vorausgesetzt, dass nicht eine zu dicke Fettlage oder Struma die inneren Organe des Halses verdeckt. Aber auch ohne eigentliches Saugobject kann man sie jederzeit an sich selbst constatiren, wenn man bei geschlossenen Lippen eine kräftige Saugbewegung macht, durch welche die Wangen eingezogen werden, und zwar am Besten unter ruhiger Haltung des Unterkiefers in einer dem Oberkiefer genäherten, jedoch nicht angepressten Stellung.

Bei mageren Männern sieht man ohne Weiteres, wie mit jedem Saugzuge der Kehlkopf ein Stück nach abwärts rückt, je nach der Länge des Halses und der gerade angewandten Kraft um 1 bis gegen 2 ^{cm}, um mit Nachlass des ersteren wieder in seine Normalstellung zurückzukehren, und wie gleichzeitig unterhalb des Kehlkopfes an den inneren Rändern der Sternomastoidei zwei Furchen sich bilden, die sich dann wieder ausgleichen. Noch ausgiebigere Belehrung liefert das Tastgefühl. Und zwar reihen sich die betreffenden Erscheinungen, von unten nach oben aufsteigend, in folgender Weise an einander. Wenn man während des Saugacts zwei Fingerspitzen zu beiden Seiten der Luftröhre aufsetzt, so fühlt man, wie beiderseits zwei Muskelstränge sich contrahiren, die M. sternohyoidei und sternothyreoidei, letztere natürlich den Kehlkopf herabziehend. Weiter nach aussen kann man auch die Omohyoidei in Contraction fühlen, die sogar bei sehr mageren Individuen als dünne Stränge die Haut emporschnellen. Setzt man aber die Finger auf den Schildknorpel, so fühlt man ausser der plötzlichen Senkung des Kehlkopfs, wie zugleich die Thyreohyoidei anschwellen. Durch die Gesammtwirkung der genannten Muskeln und die zugehörigen Bänder wird aber natürlich auch das Zungenbein nach unten gerückt, was man wieder direct fühlen, zuweilen auch sehen kann, wobei sich jedoch weiter herausstellt, dass das Zungenbein nicht einfach abwärts sondern zugleich vorwärts gezogen wird. Diese Bewegung nach vorn, ein wenig schon mitbedingt durch die Wirkungsweise der vorher erwähnten langen Herabzieher, hat doch ihre Hauptursache in einer gleichzeitigen Contraction der Geniohyoidei, welche sich den hinter dem Kinn angesetzten Fingerspitzen zu erkennen giebt. Es ist klar, dass nächst der so gewonnenen Fixirung des Zungenbeins in einer unteren und vorderen Stellung mit der Verschiebung desselben *eo ipso* die ihm angeheftete Zungenwurzel ebenfalls abwärts und ein wenig vorwärts gezogen werden muss, eine Bewegung derselben, welche jedoch noch durch andere Kräfte sehr gesteigert wird.

Man kann nämlich weiterhin bei passender Einstellung der Fingerspitzen in der vorderen Unterkinngegend leicht finden, dass auch die Genioglossi sich mächtig zusammenziehen. Dass trotzdem die Zunge nicht hervorgestreckt wird, ist leicht erklärlich. Es ist dies schon dadurch bedingt, dass die Spitze der Zunge den unteren Schneidezähnen und deren

Alveolen anliegt, ein Wall, an den sie durch die Wirkung der Genioglossi nur um so stärker angepresst wird, wie denn überhaupt nur dann die Zunge aus dem Munde hervorgestossen werden kann, wenn vorher ihre Spitze über die Schneidezähne emporgehoben worden ist. Sodann kommt in Betracht, dass in unserem Falle der ganze Genioglossus in Thätigkeit tritt, während vielleicht, wie es einzelne Forscher wirklich annehmen,[1] ein Vorstrecken der Zunge nur dann erfolgt, wenn bloss die nach hinten streichenden Bündel des genannten Muskels in Action treten, da die vorderen einem solchen Zwecke eher entgegenzuwirken geeignet sind, freilich meines Erachtens durch die langen und darum einer ausgiebigeren Verkürzung fähigen hinteren Bündel überwogen werden können. Ausserdem aber ist als wesentlich noch ein ferneres entgegenwirkendes Moment in Rechnung zu ziehen, nämlich dass mit den Genioglossis zugleich ihre Antagonisten, die Hyoglossi, in Wirksamkeit treten, deren Contraction ebenfalls durch die Haut hindurch fühlbar wird. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Zugrichtung des freien Theils der Hyoglossi durch die Verschiebung des Zungenbeins eine etwas veränderte, weniger rückwärts und noch stärker als sonst abwärts wirkende geworden ist.

Die Contraction der Geniohyoidei, Genioglossi und Hyoglossi giebt sich einigermaassen auch dem Auge des Beobachters durch eine Anschwellung der Unterkinngegend kund. Letztere hat auch schon Donders erwähnt und hinzugefügt, dass sich so die Zurückziehung der Zungenwurzel kenntlich mache, wozu ich nur zu bemerken habe, dass es sich erstens nach meinen Ermittelungen nicht um eine rückwärts sondern anders und zum Theil entgegengesetzt gerichtete Bewegung handelt, und dass zweitens die mit der Contraction verbundene Dickenzunahme der frei unter dem Boden der Mundhöhle liegenden Muskeltheile zu der Hervorwölbung erheblich beiträgt.

Wenn wir nun diesen grossen und complicirten, vom Brust- und Schlüsselbein bis in die Zunge hineinreichenden Muskelapparat in seinem Zusammenwirken in's Auge fassen und uns fragen, welchen mechanischen Erfolg wir von demselben zu erwarten haben, so dürfte sich dieser schon *a priori* als ein doppelter darstellen, nämlich so, dass erstens die Zunge als Ganzes senkrecht nach unten und zugleich ihr hinterster Theil ein wenig

---

[1] So sagt Milne Edwards (*Leçons sur l'Anatomie et la Physiologie comparée etc.* t. VI. p. 89) betreffend den Genioglossus: „Lorsque ces muscles agissent en totalité, ils doivent contribuer surtout à abaisser la langue et à la creuser vers le milieu; mais quand leurs faisceaux postérieurs se contractent seuls, ils tendent à projeter cet organe en avant, tandisque par le jeu de leurs faisceaux antérieurs la pointe de celui-ci est tirée en arrière. — C'est à raison de cette diversité dans les effets que quelques anatomistes ont donné à ce muscle le nom de „polychrestes".“

nach vorn gezogen, und dass zweitens die Zunge in sich mehr oder weniger abgeplattet wird. Das Erstere wird nothwendig verursacht erscheinen durch die combinirte Action der vom oberen Rande des Brustkastens zum Zungenbein aufsteigenden Muskelzüge und der freien Theile der Hyo- und Genioglossi. Die Gestaltveränderung der Zunge aber ergiebt sich als Folge der eigenthümlichen Anordnung der im Zungenfleische selbst enthaltenen Fortsetzungen der beiden letztgenannten Muskeln, ganz besonders aber des Genioglossus, dessen Bündel ja nach ihrem Eintritt in die Zunge in einer sagittalen Ebene fächerförmig ausstrahlen, und theils nach vorn, theils nach hinten bogenförmig verlaufen, um schliesslich senkrecht gegen die obere Fläche anzusteigen, genauer gesagt gegen den besonderen Theil der Zungenoberfläche, den sie erreichen, während zugleich in der hinteren Hälfte der Zunge ein Theil der Hyoglossusfasern einen analogen Verlauf nimmt und die Wirkung der ersteren nur zu unterstützen geeignet erscheint. Wenn demnach schon im Allgemeinen diese Fasern so angelegt sind, dass ihre gemeinschaftliche Verkürzung die obere Schleimhaut der Zunge nach unten ziehen muss, so kommt weiterhin in Betracht, dass diejenigen Bündel des Genioglossus, die zum Gipfel der Zungenwölbung hinziehen, die längsten von allen sind, also auch bei ihrer Contraction das grösste Maass absoluter Verkürzung erfahren, womit dieser höchstgelegene Theil der Zunge am weitesten nach unten gezogen, also die Wölbung abgeflacht werden muss. Während nun diese Stelle fast senkrecht nach unten weicht, werden die weiter hinten und weiter vorn gelegenen Punkte eine mit der ersteren convergirende Abwärtsbewegung machen. Diese über die ganze Länge der Zunge sich erstreckende Wirkung des Muskels wird allerdings unmittelbar nur denjenigen ziemlich breiten medialen Längsstreifen treffen, in dem die Bündel des Muskels endigen, mittelbar aber auch mehr oder weniger auf die seitlichen Theile übertragen werden, ausser in gewissen besonderen Fällen der Behinderung, die ich später noch besprechen werde.

Ganz unabhängig von der Frage des Saugens ist eine solche die Zunge senkende und abflachende und selbst unter Umständen hohl formende Wirkung des Genioglossus schon früher von einzelnen Autoren[1] mit Recht, wenn auch ohne nähere Motivirung angenommen, von den meisten allerdings gar nicht berücksichtigt worden.

Diese Action bedingt aber Entfernung der Zunge vom Gaumen. Liegen anfangs beide Flächen einander an, so wird sie eine Loslösung der Zunge herbeiführen, und zwar ausgehend von demjenigen Punkte, wo unter dem äusseren Luftdrucke Substanz in die neugebildete Lücke eintreten kann, was gewöhnlich nur vorn, von der Mundöffnung her möglich sein wird, wo

---

[1] Vgl. das auf S. 102 beigebrachte Citat aus Milne Edwards.

denn auch wirklich die Saugraumbildung beginnt. War aber von vorn herein ein Zwischenraum zwischen Zunge und Gaumen längs der ganzen Erstreckung beider Organe vorhanden, so wird dieser erweitert werden und auch so die physikalische Grundbedingung einer Saugwirkung gegeben sein.

So klar und sicher mir nun auch diese Anschauung der Sache theoretisch begründet erschien, so lag mir doch daran, sie auch durch unmittelbare Beobachtung des in der Mundhöhle Geschehenden bestätigen oder eventuell berichtigen zu können.

Zu diesem Zwecke bieten sich zunächst zwei, gelegentlich schon früher benutzte Methoden dar, nämlich die Selbstbeobachtung mit Aufmerksamkeit auf die im Munde zu spürenden Muskel- und Schleimhautempfindungen und andererseits die Einführung eines Fingers in den Mund des Saugenden, um durch das Tastgefühl des Fingers Belehrung zu erhalten. Was ich auf solche Art finde, steht in wesentlicher Uebereinstimmung mit der oben entwickelten Ansicht. Immerhin liefern beide Beobachtungsweisen nur unvollkommene Resultate; überdies ist die erstere dem Vorwurfe individueller Subjectivität ausgesetzt und die zweite mit dem Fehler behaftet, unter Umständen regelwidrige und irreführende Nebenerscheinungen zu veranlassen, die ich zu erwähnen noch Gelegenheit haben werde.

Es kam mir deshalb darauf an, durch den Gesichtssinn die Vorgänge in der Mundhöhle direct wahrnehmen und demonstriren zu können, was bis

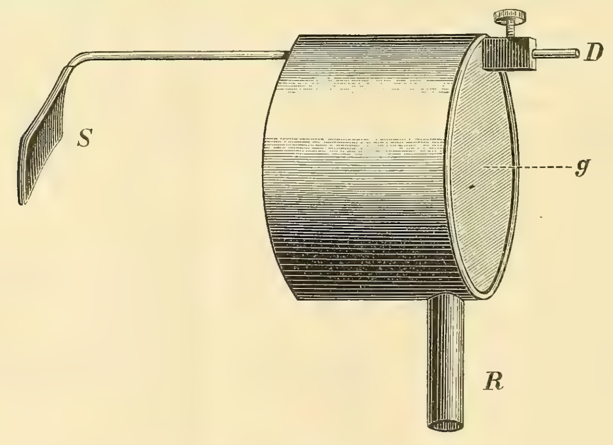


Fig.2.

dahin noch von Niemand versucht worden war. Und doch gelingt die Erfüllung dieser Aufgabe ganz leicht mit Hülfe einer von mir zu diesem Zwecke construirten, sehr einfachen Vorrichtung.

Dieses etwa als Saugspiegel zu bezeichnende Instrument, das obenstehend abgebildet ist, besteht aus einem Ringe von Holz oder Messingblech,

im letzteren Falle mit Kautschuk überzogen, von $3^1/_2$—4 cm Durchmesser und etwa 3 cm Tiefe, dessen Oeffnung auf eiuer Seite durch eine dem Rande luftdicht angefügte Glasplatte (*g*) geschlossen ist. Denken wir uns diese einseitig geschlossene Trommel aufrechtstehend, d. h. mit horizontal liegender Axe, und die Glasscheibe an ihrer vorderen Seite, so ist an dem höchsten Punkte der Lichtung ein durch die Scheibe nach vorn hervortretendes Messingstück angebracht, mit einer horizontalen Durchbohrung, durch welche von hinten her der Drahtstiel (*D*) eines kleinen Spiegels (*S*) (Kehlkopfspiegels ohne Holzgriff) hindurchgesteckt und nach Bedürfniss verschoben werden kann, wobei der Stiel übrigens, mit einer Fettigkeit bestrichen, den Canal luftdicht ausfüllen soll. Diese Beigabe hat den Zweck, den hinteren, nach rückwärts abschüssigen Theil des Zunkenrückens, der durch die Wölbung der Zunge verdeckt ist, im Spiegelbilde sichtbar zu machen, und diesem Zwecke entsprechend muss die spiegelnde Platte durch passende Biegung des Drahtstiels nach unten in eine fast senkrechte Stellung gebracht werden. Falls es aber auf diesen speciellen Theil der Beobachtung nicht ankommt, kann er auch ganz weggelassen und die für ihn bestimmte Durchbohrung mit etwas Wachs verschlossen werden. Von dem tiefsten Punkte des Ringes geht dicht hinter der Glasscheibe senkrecht nach unten ein offenes Röhrchen (*R*) ab, dazu bestimmt, in gewissen Versuchen durch einen Gummischlauch mit einer beliebigen Saugröhre verbunden zu werden. Es lassen sich aber auch ohne die letztere Complication, nach Verstopfung des Röhrchens, mit dem kleinen Instrumente belehrende Beobachtungen anstellen.

Die Art der Anwendung ist nun einfach folgende. Die Versuchsperson nimmt bei weit geöffnetem Munde den Ring in der angegebenen Stellung des letzteren zwischen ihre Schneidezähne, ihn mit diesen festhaltend, umschliesst ihn auch dicht mit den Lippen und macht dann eine Saugbewegung, deren wirksame Ausführung leicht zu constatiren, nämlich bei Verbindung des unteren Röhrchens mit einer in Flüssigkeit tauchenden Saugröhre an dem Aufsteigen der letzteren, bei Versperrung des Röhrchens aber an der starken Einziehung der Wangen der Versuchsperson kenntlich ist. Was aber dabei in der Mundhöhle vorgeht, kann man bei passender Beleuchtung durch die Glasscheibe hindurch sehr genau sehen. Nur muss letztere zur Vermeidung des Beschlagens vorher erwärmt worden sein, und ebenso auch, wenn er mit benutzt wird, der kleine Spiegel, der übrigens auch schon vor Einführung in den Mund annähernd in die richtige Entfernung geschoben werden muss, um dann in der Mundhöhle unter Beobachtung durch die Glasscheibe genauer eingestellt zu werden.

Einzelne Versuchspersonen beantworten zwar unter diesen ungewohnten Umständen die ihnen gestellte Aufgabe unerwünschter Weise durch inspi-

ratorisches Saugen, was man sofort daran erkennt, dass das Gaumensegel zur Horizontalen erhoben wird, ausserdem auch durch Beachtung des Thorax und Abdomens. Die Mehrzahl der beobachteten Individuen hingegen entsprach von vornherein vollkommen meiner Intention durch Benutzung des Mundmechanismus, wobei das Gaumensegel vor dem Kehlkopfe senkrecht herabhängt, mit seinem freien Rande sich an die hinterste Partie der Zunge anschmiegend, ein Verhalten, das schon früher angenommen worden ist, jetzt aber direct gesehen werden kann.

Dass nun überhaupt unter diesen Verhältnissen, bei weit aufgesperrter Mundhöhle, auf deren Boden die Zunge ruht, durch den Mundmechanismus doch eine erhebliche Saugwirkung erzielt wird, wie ich dies an vielen Individuen gesehen habe und auch an mir selbst jeder Zeit demonstriren kann, liefert zunächst einen Beweis dafür, dass diejenige Anfangsstellung, auf welche Donders so grosses Gewicht gelegt hat, nämlich das Anliegen des grössten Theiles der Zunge am Gaumen, durchaus nicht nothwendig und wesentlich ist, also auch keine principielle Bedeutung hat, sondern nur eventuell in quantitativer Hinsicht von Einfluss sein wird, insofern mit ihr ein minimaler Anfangsraum gegeben ist, dessen nachfolgende Erweiterung um so grösser ausfallen kann.

Sodann beachte man noch, dass bei diesem Verfahren der Unterkiefer festgestellt ist, also keine Senkung desselben mitspielen und auf die Zunge übertragen werden kann, so dass nur die übrigen Factoren zur Wirksamkeit und ihre Leistungen zur Wahrnehmung gelangen.

Die Beobachtung derselben durch den Saugspiegel zeigt nun Erscheinungen, welche vollständig den nach Obigem zu erwartenden entsprachen. Indem ich dieselben schildere, werde ich an geeigneten Stellen diejenigen Bestätigungen und Ergänzungen einflechten, welche durch das Tastgefühl eines eingeführten Fingers oder durch die subjectiven Empfindungen des Saugenden selbst geboten werden können.

Die Zunge wird nicht zurückgezogen; vielmehr bleibt ihre Spitze ruhig an den unteren Schneidezähnen liegen und wird sogar öfters an diese noch stärker angepresst. Letzteres empfinde ich auch selbst bei jedem stärkeren Zuge an einer Pipette oder Cigarre, wie Andere, die ich auf diesen Punkt achten liess, ebenfalls. Es ist dies aus der überwiegenden Wirkung gewisser Bestandtheile des Genioglossus sehr wohl erklärlich.

Hingegen sieht man, wie während des Saugactes die gesammte obere Fläche der Zunge nach unten rückt und dabei aus ihrer stark gewölbten in eine weniger convexe, zuweilen fast platte Form übergeht, ohne dass es jedoch unter diesen Umständen bis zu einer Hohlkrümmung käme. Auch der Gipfel der Zungenwölbung bleibt bei seiner Abwärts-

bewegung in der ursprünglichen Frontalebene oder wird sogar ein wenig nach vorn verschoben, während der hintere, in der Ruhe steil abschüssige Theil des Zungenrückens mit der Abplattung sich natürlich in gewissem Grade nach vorn hin umlegt. Bei kräftigem Saugen kann man aber deutlich sehen, dass die Senkung der gesammten oberen Fläche nicht bloss auf Rechnung der Abplattung zu setzen ist, sondern nebenher die Zunge als Ganzes, also auch ihre untere Fläche abwärts gezogen wird. Im Besonderen schnellt auch der der Spitze nächstgelegene freie Theil der Zunge heftig nach unten, gegen den Boden der Mundhöhle andrängend. Dieses Drängen nach unten lässt sich noch anders erkennen, nämlich indem man einen Finger in den Unterzungenraum steckt und dann auf gewöhnliche Art saugt oder saugen lässt, wobei der Finger den Druck der Zunge von oben her deutlich fühlt. Es geschieht demnach so ziemlich das Gegentheil von dem, was man sich vielfach vorgestellt hat, nämlich statt einer Hebung, concaven Aufkrümmung und Rückwärtsbewegung der Zungenspitze vielmehr ein Vorstossen derselben und ein Andrücken des hinter ihr gelegenen Theiles an den Boden des Unterzungenraumes. An dem grösseren angewachsenen Theile des Organs aber steht ja dem Abwärtsrücken *en masse* kein Hinderniss entgegen, und es wird unter der Contraction der hier eintretenden Muskeln ein Theil des Zungenfleisches gleichsam aus dem Bereiche der Mundhöhle nach unten heraustreten.[1]

Obwohl nun hiernach weder die Zunge als Ganzes, noch ihre Spitze, noch ihre Wurzel nach hinten gezogen wird, so bringt doch der Vorgang der Abplattung eine Theilerscheinung mit sich, welche bei einem flüchtigen Hinblicke irreführen kann, insofern sie in der That eine nach hinten gerichtete Componente der Bewegung enthält. Da nämlich die Abflachung nur so bewerkstelligt werden kann, dass die Gegend der höchsten Wölbung die grösste Excursion nach unten macht, alle vorderen Punkte aber um so kleinere, je weiter vorn sie liegen, so resultirt für den vorderen Abhang der Zunge, der ja den grössten und allein direct sichtbaren Abschnitt des Organs ausmacht, im Ganzen eine Neigungsbewegung nach hinten und unten, und die einzelnen Punkte dieser Fläche müssen kleine, nach hinten convexe Bogenlinien beschreiben, welche wohl denjenigen Curven entsprechen mögen, in welchen die vorderen Faserbündel des Genioglossus verlaufen. Dies mag dazu beitragen, dass es zuweilen wie eine Art wälzender Bewegung erscheint, durch die ein Theil der vorderen Zungensubstanz in der Richtung nach der unteren Anheftung des Organs hinbefördert wird.

---

[1] Natürlich kann man, wenn man es darauf absieht, mit der wesentlichen Bewegung willkürlich auch eine Aufkrümmung und allenfalls auch eine Zurückziehung der Zungenspitze combiniren, jedoch ohne damit den Saugeffect zu fördern, ja sogar nicht ohne ihn zu schädigen.

Ein Gegenstück hierzu aber bietet die Beobachtung des hintersten Theiles des Zungenrückens mit Hülfe des kleinen Spiegels. Hier ereignet sich etwas dem Vorigen ganz Entsprechendes, nur in umgekehrter Richtung; denn man sieht, wie jene in der Ruhe steil abfallende Fläche unter Einziehung ihrer schwachen Convexität sich zugleich nach vorn und abwärts neigt.

Von beiden Enden also, von vorn und von hinten her wird ein Theil des Zungenfleisches nach einer gewissen mittleren und tiefer gelegenen Region heruntergewälzt, ein Vorgang, welcher sehr hübsch die Bedeutung der eigenthümlichen Anordnung der Genioglossusfasern illustrirt.

Und zwar scheint meistens bei der durch den Saugspiegel bedingten Mundstellung die Senkung des Zungenrückens in seiner ganzen Ausdehnung fast gleichzeitig zu erfolgen und beendigt zu sein, ein Punkt, dessen eventuelle Modification bald besprochen werden soll.

Die mittlere Grösse der Abwärtsbewegung aber, die nach dem Augenschein reichlich 1 ^{cm} betragen kann, multiplicirt mit dem Flächenraume des Zungenrückens, gestatten eine Berechnung, welche mehr als diejenigen 50 ^{ccm} Raumvergrösserung ergiebt, die nach meinen früher angeführten Messungen für die Aufnahme von Flüssigkeit durch den Zungenmechanismus *in maximo* zu postuliren waren (s. S. 91), wobei in Betracht kommt, dass ja nach dem auf S. 97—98 Erörterten beim Einziehen tropfbarer Fluida nicht die ganze Mundhöhle als Saugraum ausgenützt wird.

Es ist nämlich, ohne dass das Wesentliche des Mechanismus verändert wird, doch hinsichtlich seiner räumlichen Begrenzung und seines zeitlichen Verlaufes eine gewisse Modification des Vorganges für den gewöhnlichen Fall anzunehmen, dass wirklich Flüssigkeit durch den wenig geöffneten Mund eingesogen wird, oder dass überhaupt beim Beginn des Saugens die Zunge dem Gaumen anliegt. Geschähe nämlich auch in diesem Falle der Ruck nach unten gleichzeitig an allen Theilen der Zungenoberfläche, so müsste diese mit einem Male in ihrer ganzen Ausdehnung vom Gaumen abgerissen werden, und zwar bei Lufteintritt mit einem schnalzenden Geräusche, was weder zweckmässig wäre noch gewöhnlich geschieht, da ja vielmehr, wie ich es oben schilderte, der Saugraum ganz vorn beginnt und sich allmählich nach hinten ausdehnt. Wir müssen uns deshalb fragen, wodurch dieses successive Geschehen der Ablösung der Zunge bedingt ist. Vielleicht liegt die Ursache nur darin, dass trotz gleichmässiger Spannung aller betreffenden Muskelbündel doch unter der Gegenwirkung der Adhaesion und des Luftdruckes die beiden Schleimhautflächen immer nur dort auseinander weichen, wo die vordringende Flüssigkeit sich zwischen sie schieben kann, d. h. in einer von vorn nach hinten fortschreitenden Folge.

Allein es gilt, noch einen weiteren Punkt zu erklären. Wir können nämlich nicht bloss eine beliebig kleine Quantität Wasser einsaugen, sondern auch andauernd die Saugthätigkeit auf einen vordersten, beliebig kleinen Theil der Zunge beschränken. Letzteres zeigt sich besonders klar bei folgender Form des Versuches. Wenn ich eine rechtwinkelig gebogene Röhre, deren senkrechter Schenkel 30 ^{cm} lang ist und unten in Wasser taucht, zuerst mit Wasser vollsauge, dann unter Verschluss der Röhre mit der Zungenspitze das in den Mund eingedrungene Quantum Luft und Wasser verschlinge, wobei sich die Zunge dicht an den Gaumen anlegt, und jetzt von Neuem ein kleines Quantum Wasser einsauge, so kann ich dieses, und zwar bei offen erhaltener Communication mit der Röhre minutenlang in dem Raume hinter den oberen Schneidezähnen festhalten, unter fühlbarer Muskelanstrengung im vordersten Theile der Zunge. Das an dieser Stelle verweilende Wasserquantum wird weder durch die von aussen wirkende hydrodynamische Kraft in die Röhre hineingezogen, noch breitet es sich über den mittleren Theil der Zunge aus. Ersteres beweist, dass die Thätigkeit der vordersten Genioglossusfasern in einem bestimmten Grade der Verkürzung fortdauert,[1] letzteres lässt die hinter dem Saugraume aufsteigenden Fasern als unthätig erscheinen. Im äussersten Falle bildet der Gipfel der Zungenwölbung die hintere Grenze des Saugraumes für Flüssigkeiten, über die wir während des Saugactes selbst nichts hinüberfliessen lassen (s. oben S. 97—98).

Diese Thatsachen könnten danach angethan erscheinen, den Gedanken zu erwecken, dass die Bündel des Genioglossus jedes einzeln für sich willkürlich innervirbar sind. Die Annahme, dass seine hintere Partie mindestens als Ganzes für sich beherrschbar sei, ist ohnedies vielleicht nicht zu umgehen (vgl. S. 102). Wäre auch die erstere Vermuthung, wenigstens für die vorderen zwei Drittel der Zunge, sichergestellt, so stände nichts mehr im Wege, für die allmähliche Ablösung der Zunge vom Gaumen auch eine successive Innervation der einzelnen Bündel des Genioglossus in Anspruch zu nehmen, also nach Art einer Peristaltik, jedoch mit dem Unterschiede, dass es sich hier um eine durch den Willen beeinflusste Bewegungsform handelt. Allein dem ist doch kaum so. Wäre eine solche Art der willkürlichen Beeinflussung möglich, der Nervenapparat überhaupt dazu veranlagt, so müsste sich dies auch dann zeigen können, wenn der Unterkiefer sammt der Zunge gesenkt ist, sei nun der Mund frei oder durch den Saugspiegel verschlossen. In dieser Stellung der Organe aber, welche für directe Beobachtung unvermeidlich ist, will es mir nicht gelingen,

[1] Erst wenn durch die Ermüdung oder Absicht die Saugwirkung aufhört, stürzt das Wasser in die Röhre zurück.

den Spitzentheil der Zunge niederzuziehen, ohne dass zugleich die mittlere und hintere Gegend derselben eine ähnliche Bewegung machen, und ebenso auch nicht einigen anderen Personen, die ich zu entsprechenden Bemühungen veranlasst hatte. Wir müssen also die obige Hypothese fallen lassen.

Aber durch welche andere Erklärung der Sache sollte sie zu ersetzen sein? In dieser Beziehung möchte ich nun noch folgendem Gedankengange Ausdruck geben, der darauf hinzielt, das Fortschreiten der Ablösung der Zunge als Folge der allmählichen Zunahme des Contractionsgrades des gesammten Genioglossus zu verstehen. Der bogenförmige Verlauf seiner Fasern muss es mit sich bringen, dass ein Theil ihrer Kraft anfangs zur Abflachung dieser Bogen verwandt wird, und dieser Antheil wird während der Contraction abnehmen zu Gunsten einer steigenden Spannung der Fasern und damit auch eines sich steigernden mechanischen Effects auf die Ansatzpunkte in der oberen Schleimhaut. Andererseits ist leicht zu constatiren, dass die Derbheit, der elastische Widerstand der Zunge gegen ihre Abplattung hinten am grössten ist und nach vorn hin immer mehr abnimmt, und zwar zeigt sich noch, dass etwa $2\,{}^1/_2{}^{cm}$ hinter der Spitze der Widerstand plötzlich steil abfällt, weshalb auch die vor dieser Grenze liegende kleine, besonders weiche Strecke in gewissen Fällen des Saugens eine ganz bevorzugte Rolle spielt, wie wir noch sehen werden. Ausserdem ist auch die Adhaesionsfläche, je weiter hinten, desto breiter. Indem also alle Widerstände, die sich der Wirkung der einzelnen Muskelbündel entgegensetzen, von vorn nach hinten wachsen, so wird der leichteste Grad der Contraction zunächst nur ganz vorn die nöthige Kraft zur Ablösung entwickeln und diese immer weiter nach hinten greifen, je mehr die Verkürzung der Muskelfasern eine gesteigerte ist. Da wir nun an jedem der Willkür unterworfenen Muskel unseres Körpers das Maass seiner Thätigkeit derart in unserer Gewalt haben, dass wir ihn innerhalb des ihm zukommenden Spielraumes in jedem beliebigen Grade verkürzen und diesen Grad der Verkürzung eine Zeit lang festhalten können, so wird dasselbe auch beim Genioglossus der Fall sein und sich daraus die beliebige Begrenzung des Saugraumes erklären lassen.

In gewissen besonders schwierigen Fällen des Saugens bedingen es sogar die eben charakterisirten Widerstandsverhältnisse, dass der hinter den Schneidezähnen gebildete Saugraum sich sehr stark nach unten, gegen den Boden der Mundhöhle hin vertieft, aber gar nicht oder nur als schmale Spalte ein wenig auf den mittleren Abschnitt des Zungenrückens hinübergreift. Dies ist z. B. der Fall, wenn wir Quecksilber in einer Röhre oder in einem Manometer durch Zungensaugen möglichst hoch heben. Der weiche Spitzentheil der Zunge wird dabei sehr tief nieder-, ausserdem auch

grubenförmig eingezogen, während die zunächst dahinterliegende Partie sich nicht oder nur wenig vom Gaumen entfernt, was man alles deutlich fühlen kann. Es ist klar, dass so fast die ganze schwere Arbeit allein von dem Spitzentheil der Zunge geleistet wird. Die Ursache dieses Verhaltens wird nach Obigem nicht mehr in einer isolirten Innervation der vordersten Muskelbündel vermuthet werden dürfen, und in der That sind wir gar nicht im Stande, willkürlich die Sache zu ändern. Hingegen glaube ich die Ursache in den besonderen mechanischen Verhältnissen eines solchen Falles zu finden. Die aus der Röhre eingesaugte Luft wird nämlich durch den Zug des Quecksilbers beträchtlich verdünnt, was ja bei gewöhnlichem leichten Saugen niemals der Fall ist. Dieser Last gegenüber ist der weiche Spitzentheil der Zunge mechanisch im Vortheile, weil seine Muskelfasern nicht ausserdem erhebliche innere Widerstände zu überwinden haben; er ist also in der zum Saugen nothwendigen Formveränderung nicht behindert, während die dahinter aufsteigenden Muskelbündel der Summe jenes äusseren und ihrer bedeutenden inneren Widerstände nicht gewachsen sind. Der höchste Theil der Zungenwölbung wird sogar unter diesen Umständen durch den äusseren Luftdruck besonders kräftig an den harten Gaumen angepresst. — Aehnlich geschieht es in vielen anderen Fällen schwierigen Saugens, mit Nebenerscheinungen, die ich im nächsten Abschnitte besprechen werde.

Unberührt aber von allen vielleicht anfechtbaren theoretischen Erwägungen verbleibt das Thatsächliche, zu dessen Erklärung sie dienen sollten. Und danach besteht das Wesentliche der Zungenbewegung beim Saugen in einer senkrechten Herabziehung und zugleich Abplattung der Zunge, welche entweder *in toto* und auf einmal erfolgt oder vorn in der Nähe der Spitze beginnend, nach hinten fortschreitet und durch einen complicirten, bis zum Brust- und Schlüsselbein herabreichenden Muskelapparat, in der Zunge selbst aber vorzugsweise durch den Genioglossus vermittelt wird.[1]

Wie gross ist nun aber die Leistungsfähigkeit dieses Apparates?

Hinsichtlich der Raumerweiterung, die er zu schaffen vermag, geht bereits aus meinen auf S. 91 mitgetheilten Versuchen hervor, dass jene sich

[1] Was ich hinsichtlich der Lage und Bildungsweise des Saugraumes für Flüssigkeiten beim Menschen gefunden habe, scheint theilweise auch für Säugethiere zu gelten, wie ich einem Werke Colin's entnehme (Colin, *Physiologie comparée des animaux domestiques*, Paris 1871, t. I, p. 576). Er unterscheidet hinsichtlich der Aufnahme von Flüssigkeiten in den Mund ausser dem Läppern (lappement) und dem Schlürfen (humer) noch zwei, meines Erachtens nur unwesentlich verschiedene Modi, nämlich das Saugen an der mütterlichen Zitze (wohl richtiger allgemein an irgend einem

bis auf 50 ccm belaufen kann, wenn Flüssigkeit eingesaugt wird. Beim Einziehen von Luft durch Zungendepression kann der Betrag noch höher ausfallen, weil der Saugraum sich bis in die Gegend zwischen Gaumensegel und Hinterfläche der Zunge erstrecken kann. Da bei jenen Versuchen die Mitbewegung des Unterkiefers ausgeschlossen war und ein dritter Factor beim Mundsaugen nicht in Frage kommt, so ist der erwähnte Betrag ganz auf Rechnung des jetzt geschilderten Mechanismus zu setzen.

Weiter kommt es jetzt auch darauf an, das hydrodynamische Maass seiner Leistungsfähigkeit festzustellen. Schon Donders hat mit Recht angegeben, dass wir durch die Action der Zunge einer Quecksilbersäule von mehr als 100 mm das Gleichgewicht zu halten vermögen. In der That lassen wir, wie ich soeben beschrieben habe, bei einem solchen Versuche am Manometer oder einer senkrecht in Quecksilber getauchten Röhre in der Regel nur die Zunge wirken, und zwar wegen des geringen Volumens der einzusaugenden Luft. Noch etwas mehr ist durch Mitbenutzung der Unter-

---

festeren Körper), succion, und das pompement, d. h. das beim Trinken mit Eintauchen der Lippen in Flüssigkeit stattfindende Saugen. Von den beiden letzteren Modis sagt er u. A.: „Chez l'enfant la pointe de la langue se retire légèrement en arrière à chaque aspiration, mais chez les solipèdes, les ruminants, dont la langue demeure souvent collée entre le mamelon et les dents, le vide se fait par une diminution de volume des parties antérieures et moyenne de l'organe, qui tend à s'éloigner du palais pour s'enfoncer dans l'espace intramaxillaire. La langue produit seulement à la partie antérieure de la bouche le petit espace, destiné à recevoir le liquide aspiré. . . . La base de la langue et son renflemennt peuvent suffisamment isoler la petite chambre antérieure de tout le reste. . . . Le pompement . . . ; il se fait comme lors de la succion un vide dans l'intérieur de la bouche, mais beaucoup plus ample; car la langue, s'éloignant fortement du palais, vient à chaque aspiration remplir à demi l'espace intramaxillaire. . . . ." Wenn nun Colin irriger Weise für den menschlichen Säugling eine stempelartige Bewegung der Zunge nach hinten annimmt, so hat er sich dabei vermuthlich mangels eigener Erfahrungen auf die in der menschlichen Physiologie seines Landes üblichen Angaben verlassen, während ihm hinsichtlich der Thiere eigene Beobachtungen zu Gebote standen. Da er hinsichtlich der an der Mutter saugenden Thiere keine Bewegung des Unterkiefers erwähnt, so scheint mir daraus hervorzugehen, dass die jungen Thiere wie in allen anderen combinirten Bewegungen so auch im Saugen viel schnellere Fortschritte zum Vollkommeneren machen als das menschliche Kind. Im Uebrigen ist freilich Colin auf die thätigen Motoren, die Art ihrer Wirksamkeit und den Verlauf des Vorganges nicht eingegangen, sondern hat nur das formelle Resultat beachtet, dieses aber in einer Weise geschildert, die ich wegen der Uebereinstimmung mit dem von mir am Menschen Festgestellten für zutreffend halten muss. Wenn es befremdlich erscheinen sollte, dass Colin von einer Volumensverminderung der Zunge spricht, deren Möglichkeit er nicht erklärt, so ist das doch in gewissem Sinne ganz richtig, da ja, wie ich oben erläutert habe, die Abplattung der Zunge dadurch zu Stande kommt, dass ein Theil ihres Fleisches unter dem Boden der Mundhöhle heraustritt, so dass danach die Masse des Organs, die im Bereiche der Mundhöhle bleibt, verkleinert ist.

kieferbewegung zu erreichen. Ich selbst vermag auf erstere Art das Quecksilber bis zu 115, auf letztere bis zu 130 mm mit einem Zuge zu heben und es auf diesem Stande einige Secunden festzuhalten; und ein ungefähr ähnliches Verhältniss habe ich auch bei einigen anderen Männern mittleren Alters gefunden, von denen jedoch einzelne mit einem Zuge sogar bis zu 140—145 mm gelangten. Für länger als einige Secunden ist das Festhalten des Quecksilberstandes nicht möglich, so schnell tritt bei dieser weitgetriebenen Anstrengung die Ermüdung ein.

Es ist jedoch mit den angegebenen Werthen die Angelegenheit noch nicht erledigt und das wirkliche Maass der Kraft der Saugmuskeln noch nicht gefunden. Schon aus dem vorigen Jahrhundert stammt eine Angabe von Hales,[1] dahin lautend, ein Mann könne durch eine eigenthümliche Action seines Mundes und der Zunge 22—28 Zoll, d. i. über 600 mm Quecksilber saugen. Das muss aber öfter beobachtet worden sein, denn vor einigen Jahren wieder findet sich in einer pneumatometrischen Arbeit von Ewald[2] die Bemerkung: „So können viele Menschen durch Saugen einen negativen Druck von 700 mm Hg und mehr erzeugen.“ Ich hatte Gelegenheit, nahezu das Gleiche selbst zu sehen und dabei das besondere Verfahren herauszufinden, durch welches so enorm hohe Leistungen erzielt werden. Als ich nämlich im vorigen Jahre bei der Berliner Naturforscher-Versammlung meinen Vortrag über diesen Gegenstand gehalten hatte, theilte mir Hr. Wurster aus Amerika mit, er selbst könne durch Mundsaugen gegen 700 mm Hg heben, und ich konnte mich bald im dortigen physiologischen Institute von der Richtigkeit seiner Angaben überzeugen. Indem er auf meinen Wunsch den Versuch mehrmals wiederholte, erkannte ich durch Beobachtung der vorderen Halsgegend des Saugenden, dass es nicht ein einziger Saugzug sondern eine ganze Reihe solcher schnell sich folgender war, durch welche der hohe Gesammteffect zu Wege gebracht wurde; und meine Vermuthung, dass in den kurzen Pausen zwischen den einzelnen Zügen die Mündung der Röhre mit der Zunge verschlossen werden möge, stellte sich als richtig heraus. Bald lernte ich die Sache nachmachen und brachte es wenigstens bis zu 360 mm Hg. Mein Verfahren dabei ist so, dass ich nach Beendigung jedes Zuges unter Verschluss der Röhre mit der Zungenspitze rasch das kleine Quantum eingesaugter Luft nach hinten in die Rachenhöhle treibe, bez. förmlich niederschlucke, worauf sich die Zunge wieder an den Gaumen anlegt, auch der gesammte Muskelapparat in seine Ruhestellung zurückkehrt und der Saugact von Neuem beginnen kann. Wenn man rasch genug verfährt, kann man auch ohne Verschluss der Röhre eine

[1] Citirt bei Hutchinson, a. a. O. S. 1060.

[2] Ewald, Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XX. S. 262.

gewisse, wenn auch geringere Erhöhung des ersten Effects erreichen, da in den kurzen Pausen das Quecksilber nur theilweise zurückweicht. Die Summirung der Wirkungen aber beruht wohl einerseits auf der in den Pausen, so kurz sie auch sind, in gewissem Grade eintretenden Erholung der Muskeln, andererseits und vielleicht noch mehr in der Wiedergewinnung der günstigen Anfangsstellung der Organe, namentlich betreffs des hauptsächlich wirksamen Spitzentheils der Zunge, dessen Musculatur bei jedem Zuge den höchsten Grad ihrer Verkürzung erreicht und darum zu einer weiteren Vergrösserung des Saugraumes nichts mehr beitragen kann, hingegen nach der Pause wieder einen neuen solchen schafft. Obwohl nun der Endeffect durch Summation einer Reihe von Kraftentwickelungen erzielt wird, so ist doch klar, dass mit dem letzten Zuge das ganze Gewicht der hochgestiegenen Quecksilbersäule bewältigt wird. Danach kann also bei geübten Personen das Maass der Kraft der auf's Höchste angestrengten Saugmusculatur des Mundes bis gegen 700^{mm} Hg betragen.

Mittels derselben Methode wiederholter Saugzüge kann man aber auch die Quantität einer in eine weite Röhre eingesaugten Flüssigkeit vervielfältigen und so leicht einen Stechheber von mehreren Hundert Cubikcentimetern Rauminhalt füllen. Bei dem geringen specifischen Gewichte des Wassers bedarf es nicht einmal nothwendig eines Verschlusses durch die Zunge, wenn die Pausen sehr kurz gemacht werden, obwohl dann durch theilweises Zurückweichen des Wassers immerhin ein Verlust an Wirkung eintritt.

IX. Hohlkrümmung der Zunge.

Mehrfach findet sich in älteren wie neueren Schriften, auch noch in der oben citirten von Vierordt,[1] die Angabe, dass eine Aufwärtskrümmug der Seitenränder der Zunge, also eine rinnenförmige Umgestaltung derselben zum Saugacte gehöre und eine wesentliche Rolle dabei spiele. Zum Mindesten soll in der so gebildeten Rinne die aufgenommene Flüssigkeit, namentlich bei Säuglingen die Milch einen bequemen und gesicherten Abfluss nach hinten finden, was als sehr nützlich erachtet wird; nebenbei aber gesellt sich auch die Annahme eines activen, die Saugwirkung begünstigenden Einflusses der Rinnenbildung hinzu. Diese Ansicht verdient aber um so mehr eine Besprechung, als sie sich auf wirkliche Vorkommnisse stützt, die jedenfalls einer Erklärung bedürfen. Undenkbar wäre es ja auch nicht, dass die vor Beginn des Saugactes um eine Brustwarze oder

---

[1] A. a. O. S. die Anm. auf S. 60.

einen feuchten Gegenstand herumgelegten Seitenränder der Zunge durch actives seitliches Auseinanderweichen einen Saugraum zu bilden versuchten, falls die Musculatur sich zu solcher Bewegungsform eignete. Indessen brauche ich auf letzteren Punkt nicht einzugehen. Denn die bezüglichen Thatsachen erscheinen bei aufmerksamer Prüfung überhaupt in einem ganz anderen Lichte.

Es braucht nach allem Früheren kaum noch bemerkt zu werden, dass gewöhnlich von einer Hohlkrümmung beim Saugacte nichts wahrzunehmen ist. Eine solche tritt nur dann ein, wenn ihm die Beschaffenheit des Saugobjectes grosse Schwierigkeiten bereitet. In der That ist die erwähnte Ansicht entstanden aus Beobachtungen, die mittels Einführung eines Fingers in den Mund eines menschlichen oder Thier-Säuglings oder auch eines zum Saugen veranlassten Erwachsenen angestellt wurden, so wie aus den inneren Wahrnehmungen, die sich beim Aussaugen einer Frucht oder eines anderen porösen, mit Feuchtigkeit getränkten Körpers einstellen. In diesen und anderen verwandten Fällen bildet sich in der That eine rinnenförmige oder zuweilen auch eine trichterförmige Hohlkrümmung des vorderen, dünneren und weichen Abschnitts der Zunge. Ein Beispiel flach grubenförmiger Einziehung habe ich schon vorhin bei Besprechung des Saugens am Hg-Manometer berührt, und das Nämliche kann man bemerken, wenn man an einer zu fest gewickelten Cigarre zu rauchen versucht. Am stärksten aber stellt sich eine rinnenförmige Gestaltung der Zunge unvermeidlich dann ein, wenn man die Lippen schliesst, die Zungenspitze ein wenig über die unteren Schneidezähne erhebt und darauf eine kräftige Saugbewegung macht, wobei öfters die Formveränderung des Spitzentheiles der Zunge so weit gehend ist, dass seine beiden seitlichen Hälften sich in der Mittellinie berühren und gleich dahinter eine tiefe trichterförmige Grube gebildet wird.

Was hat es nun mit diesen Erscheinungen auf sich? Meine Antwort lautet dahin: Diese Hohlkrümmungen sind keine willkürlich herbeigeführten, auch keine den Saugact fördernden Actionen, sondern ganz passiver Natur, verursacht durch den äusseren Luftdruck, welcher sich unter den besonderen obwaltenden Umständen nur auf diese Art geltend machen kann. Alle erwähnten Fälle haben nämlich das Gemeinschaftliche, dass das Saugen ein vergebliches ist, entweder ganz vergeblich, wie am eingeführten Finger und in dem zuletzt angeführten Falle, oder doch relativ vergeblich, wie in den übrigen, insofern nur ein minimales Quantum Substanz eingezogen werden kann, weit zurückbleibend hinter der gemachten Anstrengung, besonders wenn das Bemühen obwaltet mehr zu erzielen. Unter diesen Verhältnissen werden nun alle benachbarten, weichen und beweglichen Organtheile durch den Luftdruck so weit möglich in den Saugraum hineingedrängt. Wir

wissen, dass aus demselben Grunde unter etwas abweichenden Umständen die Wangen tief eingezogen werden. Letzteres kann nämlich nur dann geschehen, wenn der Unterkiefer mit der Zunge derart gesenkt ist, dass die Wangen sich oberhalb der Zunge in den Mundhöhlenraum einstülpen können. Wird dabei die Zunge ein wenig über die unteren Zähne erhoben, so geschieht es auch dann, dass während durch die Genioglossi ein medialer Streifen der Zunge niedergezogen wird, ihre Seitenränder durch die Wangen nach innen gedrängt, also zu einer Rinne umgebogen werden. Wenn hingegen bei hochstehendem Unterkiefer die Zunge den Mundhöhlenraum ausfüllt, so sind die Wangen durch die Zähne und die Zunge selbst verhindert, sich nach innen zu bewegen; auch bildet sich ja dann nur ganz vorn ein kleiner Saugraum, und in diesen müssen jetzt die ihm benachbarten Weichtheile eintreten. Liegt dabei die Zungenspitze den unteren Schneidezähnen an, so sind es die Lippen, die eingezogen werden; ist hingegen die Zunge etwas erhoben, so dass ihre Spitze der Mitte der Lippen im Wege ist, so presst der Luftdruck mittelbar, nämlich durch die den Mundwinkeln benachbarten Partien der Lippen und Wangen, auch von der Unterkinngegend her, die Seitenränder des vorderen Abschnittes der Zunge gegen die Mittelebene hin, während ein medialer Streifen niedergezogen und so eine Rinne gebildet wird. Dasselbe geschieht, wenn ein festliegender Fremdkörper, der keine oder wenig Flüssigkeit abgiebt, z. B. ein Finger, eine Brustwarze eingeschoben ist; derselbe wird zunächst so weit als möglich hereingezogen, daher auch die Brustwarze der Säugenden verlängert; sodann aber treten wieder die Ränder der Zunge in die Lücke ein, den Fremdkörper umfassend und pressend. Betrifft dies die Brustwarze einer Säugenden, so ist es wohl glaublich, dass dieser mechanisch herbeigeführte seitliche Druck zum Auspressen der Milch etwas beitragen kann.

Wenn ich sagte, dass der äussere Luftdruck auch von der Unterkinngegend her die Zungenränder in die Höhe drängt, so wird dies sehr deutlich dadurch bewiesen, dass die sonst, nämlich bei leichterem Saugen, bemerkbare Hervorwölbung jener Gegend unter den zuletzt bezeichneten Umständen ausbleibt, ja sogar eine leichte Einziehung derselben zu erkennen ist.

Die Richtigkeit der hier entwickelten Ansicht von der mechanischen Entstehung der Hohlkrümmungen wird überdies auch durch die Empfindungen der Unwillkürlichkeit und Unvermeidlichkeit bestätigt, und es wird schwerlich Jemand daran zweifeln, der die betreffenden kleinen Versuche mit Aufmerksamkeit nachmacht.

Doch möchte ich noch hinzufügen, dass, wie ich finde, die eigenen Muskeln der Zunge gar nicht im Stande sind, ihr ohne fremde Beihülfe diejenige Hohlform zu geben, welche sie in den erwähnten Fällen beim

Saugen annimmt. Wenn man bei sehr weit geöffnetem und auch etwas in die Breite gezogenem Munde die Zunge derartig hebt, dass ihre Ränder und ihre untere Fläche frei von seitlichem Drucke sind, so kann man ihr zwar auch dann durch Willenseinfluss eine muldenförmige Gestalt beibringen, vermuthlich unter combinirter Action der Genioglossi und der oberen Schichten der transversalen Muskelfasern; allein die so erreichbare Gestalt ist hinsichtlich der Annäherung der Ränder noch sehr entfernt von der rinnenförmigen oder derjenigen eines Schnabeltässchens vergleichbaren Höhlung, die sich zuweilen beim Saugen ausbildet. Wohl aber kann man diese leicht dadurch herbeiführen, dass man einen Druck der Lippen und Wangen auf die Seitentheile der Zunge zu Hülfe nimmt, also die Thätigkeit des Orbicularis oris und der Buccinatores, so die Rolle ersetzend, welche in den besprochenen Fällen des Saugens der Luftdruck spielt.

Auch einen Nutzen der Rinnenbildung in dem Sinne, dass dadurch der Abfluss einer eingesaugten Flüssigkeit nach hinten begünstigt werde, muss ich gänzlich in Abrede stellen. Es ist das schon deshalb nicht möglich, weil die Höhlung, wo sie sich bildet, nur das vordere Drittel der Zunge einnimmt, und weil das Saugobject den Boden der Rinne ausfüllt. Ausserdem aber habe ich ja genügend begründet, dass und warum der Mensch während des Saugactes niemals etwas über den Berg der Zunge hinweg nach hinten fliessen lässt, und auch in unseren jetzigen Fällen, z. B. beim Säugling an der Mutterbrust, verweilt die Flüssigkeit so lange in dem Saugraume unter dem harten Gaumen, bis sie durch den nachfolgenden Schlingact nach hinten getrieben wird.

Nach allem sind also die Hohlkrümmungen der Zunge unwesentliche, nur in besonderen Fällen eintretende, durch den Luftdruck erzeugte, nicht als Ursachen sondern als Folgen des Saugens aufzufassende Nebenerscheinungen, welche in dieselbe Kategorie, wie die Einziehung der Wangen gehören, und auch den Abfluss der eingesaugten Flüssigkeit nicht fördern, wohl aber eventuell zur Auspressung eines Saugobjectes beitragen können.

X. Combinirtes Saugen und Pneumatometrie.

Aus bestimmten Gründen muss ich nach Allem doch noch auf die Frage eingehen, unter welchen Umständen und mit welchem Erfolge die beiden Hauptarten des Saugens, das inspiratorische und das Mundsaugen sich zu gemeinschaftlicher Wirkung verbinden können. Dass bei den zum Leben nöthigen Saugacten, die dem Körper Flüssigkeit zuführen, eine solche Combination nicht vorkommt, und ebenso auch nicht bei der Benutzung

kleiner Saugröhren, dürfte aus dem Vorstehenden hinreichend hervorgegangen sein. Die Frage, um die es sich noch handeln kann, ist nur die, ob in schwierigen Fällen inspiratorischen Saugens eine Unterstützung desselben durch die Mundmechanismen vorkommt und wie sich die Verhältnisse dabei gestalten. Es ist dies ein Punkt, der namentlich für die Methodik gewisser, die Athmung betreffender, messender Untersuchungen von Wichtigkeit ist, und zwar sowohl für die im engeren Sinne sogenannten pneumatometrischen wie für die von mir hier vorgeschlagenen pneumergometrischen Bestimmungen.

Fassen wir zunächst die ersteren in's Auge, so hat die eben erwähnte Frage in der Geschichte der Pneumatometrie seit lange eine Rolle gespielt und die Sorge der Beobachter in Anspruch genommen. Sie betrifft eigentlich sowohl die Untersuchung bei freiem Athmen, wie diejenige bei Absperrung der Innenluft. Die letztere ist aber von besonderem Belange, sowohl weil analoge Fälle hohen Grades sich im Leben ereignen und in ernstester Weise das Interesse des Arztes beanspruchen, z. B. bei Eindringen von Fremdkörpern in die oberen Luftwege oder sonstiger Stenose derselben, als auch wegen der Verwerthbarkeit im dynamometrischen Sinne. Im Falle der Absperrung haben nämlich die Athemmuskeln in Folge höher und höher steigender Verdünnung, bez. Verdichtung der Innenluft Gelegenheit das höchste Maass ihrer Anstrengung zu entfalten; das Manometer wird damit zu einem Dynamometer und liefert vergleichbare Werthe der maximalen Kraft, welche der Respirationsapparat der Individuen nach aussen hin zu entwickeln vermag. Diese ist ja im gesunden Zustande in grossem Ueberschusse vorhanden, kann hingegen unter abnormen Verhältnissen auf's Aeusserste in Anspruch genommen werden, auch in verschiedener Weise geschädigt sein, weshalb auch schon Waldenburg[1] Messungen dieser Kraft zu diagnostischen und prognostischen Zwecken zu verwerthen gesucht hat. Zu unserer Angelegenheit stehen übrigens nur die Verhältnisse des Inspirationszuges in Beziehung. Es soll sich deshalb die folgende Besprechung nur auf den maximalen negativen Inspirationsdruck bei Absperrung der Luftwege beziehen.

Derartige Versuche hatte nun schon vor langer Zeit Valentin[2] angestellt und zwar so, dass er den Versuchspersonen die Nasenlöcher verstopfte und die Inspiration durch die Mundhöhle hindurch auf ein Manometer wirken liess; er war dabei zu verhältnissmässig hohen Werthen gekommen, die sich bei einzelnen Individuen bis zu 266 ^{mm} Hg erhoben.

---

[1] Waldenburg, *Berliner klinische Wochenschrift.* 1871. S. 541; — und „*Pneumatische Therapie.*“

[2] Valentin, *Lehrbuch* u. s. w. 1847. Bd. I. S. 531; — *Grundriss.* 1855. S. 210.

Dem gegenüber gaben Hutchinson[1] und dann Donders[2] der Inspiration durch die Nase den Vorzug, indem sie die Verlängerung eines Manometerrohres in ein Nasenloch luftdicht einfügten, das andere versperrten, so wie auch den Mund geschlossen halten liessen, wobei sich im Ganzen viel niedrigere Werthe ergaben, die sich bei Hutchinson für die leistungsfähigsten Individuen im Mittel auf 77, bei Donders sogar nur im äussersten Falle auf 76, im Mittel aber auf 57 mm Hg beliefen. Donders verwarf ausdrücklich die Methode, „weil die Muskeln des Mundes dabei ihren Einfluss üben,“ natürlich einen erhöhenden. Demselben eventuellen Uebelstande haben in ihren Untersuchungen auch Waldenburg und nach ihm Biedert[3] viel Aufmerksamkeit zugewendet und versucht, demselben dadurch entgegenzutreten, dass sie an das Ende des Manometerschlauches einen offenen Hohlkörper (Maske) anfügten, welcher entweder nur auf den ziemlich weit geöffneten Mund der Versuchsperson äusserlich aufgesetzt wird (Mundmaske, wie sie übrigens auch schon Valentin benutzt hatte) oder in grösserer passender Form Mund und Nase zugleich luftdicht bedecken soll (Mundnasenmaske), Einrichtungen, auf deren Werth ich noch zurückkommen werde. Wieder einen anderen complicirteren Apparat hat Ewald[4] gegen die erwähnte Fehlerquelle in's Werk gesetzt, welche er mit folgenden Worten charakterisirt: „Die Wirkung der Mundmusculatur ist eben wegen ihrer positiven und negativen bedeutenden Druckhöhen äusserst störend . . . . und es braucht sich daher mit der Athembewegung nur eine geringe Saugbewegung zu combiniren, um das Resultat wesentlich zu ändern. . . . . Es giebt aber kein Mittel, um zu constatiren, ob der Druck allein in den Lungen oder theilweise im Munde erzeugt werde.“ Es ist demnach nur natürlich, dass dieselbe Ansicht auch in die Lehrbücher übergegangen ist.

Die Vorsicht nun, zu welcher sie auffordert, halte ich ebenfalls für sehr wohl angebracht. Gleichwohl scheint mir dieser Punkt noch einer Klärung zu bedürfen. Insofern nämlich offenbar die Sache vielfach so angesehen worden ist, dass man annahm, es könne während der Inspiration die Mitwirkung der Mundsaugemuskeln einen zu hohen Inspirationsdruck vortäuschen, so muss ich dem widersprechen.

Erwägen wir die Sache zunächst theoretisch, so ist nicht zu vergessen, dass ja während der Inspiration von der Mundhöhle bis in die Lungen hinein nur eine einzige zusammenhängende Luftmasse existirt. Denken wir uns nun irgend ein Gefäss mit verdünnter Luft erfüllt und aussen

[1] Hutchinson, a. a. O. p. 1061 ff.

[2] Donders, *Physiologie des Menschen.* 1856. Bd. I. S. 401.

[3] Biedert in seinen auf S. 84 angeführten Abhandlungen.

[4] Ewald, Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XX. S. 262.

von dem vollen atmosphaerischen Drucke umgeben, so wird jeder Theil der Wandung des Gefässes der obwaltenden Druckdifferenz gewachsen sein müssen. Fände sich irgendwo eine schwache Stelle, so würde dieselbe sofort eingedrückt oder zersprengt werden, und es könnte ihr nichts helfen, wenn an einer anderen Stelle überschüssige Festigkeit vorhanden wäre. In demselben Falle ist aber während der Einathmung der Thorax. Die Rolle, welche in dem erwähnten Beispiele die Cohaesion spielt, übernimmt bei der Inspiration die Kraft der thätigen Muskeln. Die von ihnen entwickelte Kraft muss in jedem Augenblicke der gerade vorhandenen Druckdifferenz mindestens das Gleichgewicht halten, und es kann ihnen nicht zu Gute kommen, wenn zugleich in der Mundhöhle stärkere ausdehnende Kräfte wirksam sind. Die Verdünnung, welche die letzteren zu Wege bringen, wird zunächst wegen der Vertheilung auf die grosse Masse der Lungenluft nur einen kleinen Bruchtheil derjenigen betragen, die sie in der abgeschlossenen Mundhöhle erzeugen können. Dem so erzielten Verdünnungsgrade aber entsprechend, wie gross oder klein auch derselbe sei, werden sich die Inspirationsmuskeln mit einer gesteigerten Anstrengung anschliessen müssen, oder es wird der Thorax um etwas zurücksinken und das gewonnene Plus wieder vernichten. Denn die wegen der Kehlkopfsenge zu erwartende Verzögerung des Ausgleichs ist nach den Erfahrungen bei freiem Athmen auf höchstens ein paar Millimeter zu schätzen, also viel zu geringfügig, um für unsere Frage in Betracht zu kommen.

Es kann also während der Inspiration und überhaupt so lange die Mundhöhle mit der Luftröhre in Communication ist eine Einmischung des Mundsaugens keinen Einfluss auf den Stand des Manometers ausüben, und es bleibt unter solchen Umständen trotz etwaigem gleichzeitigem Mundsaugen die Höhe der Flüssigkeitssäule im Instrumente das richtige Maass der Verdünnung der Lungenluft und der hydrodynamischen Leistung des Inspirationsapparates.

Es ist deshalb wohl begreiflich, dass unter denjenigen Untersuchungsreihen, die je an einem Individuum abwechselnd mit der Nasen- und Mundmethode angestellt worden sind, wobei die letztere höchst wahrscheinlich nicht ohne Hineinspielen der Mundsaugorgane ablief, sich dennoch auch solche finden, die beide Methoden als gleichwerthig erscheinen lassen. Hat doch selbst Waldenburg, obwohl er auf die Fehlerquelle aufmerksam war, und zwar zu der Zeit, als er noch seinen Versuchspersonen das Endstück des Manometerrohres in den Mund gab, worin gewissermaassen noch ein besonderer Anreiz zu Saugbewegungen der Zunge liegt, in zahlreichen Parallelversuchen mit langsamer Inspiration die Sache so gefunden, dass er zu dem Schlusse kommt, den er besonders hervorhebt: „Die Werthe, die man dann erhält, sind dieselben, ob man durch den Mund

oder durch die Nase athmen lässt."[1] Ich selbst habe schon oben auf S. 74 genauer über zwei Küfer und deren pneumatometrische Leistungen berichtet. Diese waren aber wesentlich die gleichen bei Inspiration durch den Mund wie bei solcher durch die Nase. In diesen Fällen war die Sache so, dass die Differenzen, welche vorkamen und sich übrigens nur auf einige bis 8 ^{mm} beliefen, eben so oft ein Plus auf Seiten der Nasen- wie der Mundmethode aufwiesen. An der Bedeutung dieser Thatsache ändert es nichts, dass es zwei Individuen betrifft, die an inspiratorisches Saugen sehr gewöhnt waren, da doch die besonderen Verhältnisse dieser Versuche von denen am Kugelheber verschieden genug sind. Uebrigens habe ich das Gleiche noch an einem dritten Mann beobachtet, der nicht zu der erwähnten Profession gehört, dessen Inspirationsdruck sich dabei im Mittel gleich 68 ^{mm} Hg herausstellte. Es kommt eben nur darauf an, dass die Versuchsperson vom Beginn des Versuchs bis zum richtigen Augenblicke das Ablesens des Manometerstandes den Isthmus faucium offen hält;[2] dann kann sie mit Unterkiefer und Zunge saugen so viel sie will, ohne das Resultat zu ändern.

Daraus folgt nun freilich, dass, wenn die letzterwähnte Bedingung nicht gewahrt bleibt, bei Anwendung der Mundmethode doch eine Combinirung der beiden Saugmechanismen mit Summirung ihrer Wirkungen möglich ist, nämlich so, dass sie nicht gleichzeitig, sondern hintereinander agiren. Und zwar kann dies auf zweierlei Art geschehen.

Entweder saugt die Versuchsperson zunächst mit der Zunge und erhebt dann in irgend einem Momente das Gaumensegel, um die Arbeit durch Einathmen fortzusetzen, wo dann die Inspirationsmuskeln das Quecksilber bis zu einem gewissen Punkte gehoben finden, und da sie noch frisch und unermüdet sind, es vielleicht bis zu einer grösseren Höhe emporbringen können, als wenn sie den ersten Theil der Arbeit selbst zu besorgen gehabt hätten. Dass die Abhebung des Gaumensegels von der Zunge in der bezeichneten Situation trotz des Ueberdruckes der Rachenluft möglich ist, beweist folgende leicht nachzumachende Beobachtung. Wenn ich bei geschlossenem Munde mittels der Zunge und des Unterkiefers eine starke Saugbewegung gemacht habe, so dass die Wangen tief eingezogen sind, so vermag ich dennoch mit einer gelinden Anstrengung das Gaumensegel von der Zunge loszureissen, was unter einem lauten Geräusche erfolgt, womit auch unmittelbar die Einstülpung der Wangen zurückgeht. War die anfängliche Saugbewegung nur eine mässige, so

---

[1] *Berliner klinische Wochenschrift.* 1871. S. 542.

[2] Einen willkürlichen Verschluss der Stimmritze glaube ich für diesen Fall nicht in Betracht ziehen zu müssen.

ist das erwähnte Geräusch nur schwach oder kaum zu hören, und derart mag es bei den in Rede stehenden Untersuchuugen zuweilen unbemerkt geschehen. Meine an einigen Personen angestellten Versuche, mittels des mit dem Manometer verbundenen Saugspiegels ein solches Verhalten zu finden, fielen allerdings negativ aus, indem jedesmal das Gaumensegel von Anfang an in horizontaler Stellung war, wenn die Personen über ihre Aufgabe zu inspiriren genügend instruirt waren; hingegen scheint mir, wenn das Endstück der Röhre auf der Zunge liegt, nach äusserlicher Beobachtung das bezeichnete Vorkommen nicht selten zu sein. Allein auch dann kann die Steigerung des Effects schwerlich bedeutend sein, und hiervon abgesehen, so wird unter diesen Umständen immerhin im letzten Augenblicke der wirkliche Inspirationsdruck gemessen, der nur aus dem angeführten Grunde ein wenig höher ausfallen mag als bei Anwendung der Nasenmethode.

Viel eingreifender aber ist die andere Combination, darin bestehend, dass die Versuchsperson zuerst inspirirt und, wenn sie nicht mehr weiter kann, das Gaumensegel fallen lässt und jetzt mittels der Mundorgane weiter saugt; denn in diesem Falle zeigt der schliessliche Stand des Manometers überhaupt nicht mehr den Inspirationsdruck an, sondern die hier unter begünstigenden Umständen einsetzende Kraft des Mundsaugapparates, dessen Leistungen besonders deshalb beträchtlich höher ausfallen können, weil er es nur mit einem kleinen Luftvolumen zu thun hat. Auch kann es trotz bezüglicher Belehrung vorkommen, dass überhaupt nur mit dem Mundmechanismus gesaugt und gar nicht inspirirt wird. Auch diese Eventualitäten habe ich bisher mittels Einschaltung meines Saugspiegels nicht positiv beobachten können, was aber wiederum nicht ausschliesst, dass sie in anderen Fällen und namentlich dann, wenn das Ende einer gewöhnlichen schmalen Manometerröhre in den Mund genommen wurde, doch eintreten mögen. Sie würden dann aber deshalb schwer zu erkennen sein, weil einerseits die bezügliche Thorax- und Zwerchfellsbewegung zu gering ist, um ihr Eintreten oder Ausbleiben zu constatiren, und weil es ja andererseits gar nicht auf etwa bemerkbare Saugbewegungen der Mundorgane ankommt, sondern nur darauf, ob dabei der Isthmus faucium versperrt oder offen ist, was sich eben bei den üblichen Verfahrungsweisen nicht wahrnehmen lässt.

Obwohl nun meines Erachtens nur die letzterwähnten Eventualitäten in einzelnen Fällen eine bedeutende Fehlerquelle darstellen, so machen sie immerhin die Mundmethode unsicher, und es war also ein gewisses, wenn auch mehr allgemein gehaltenes Misstrauen gegen dieselbe doch begründet. Dieses reichte jedoch nicht aus, um bei ausgedehnterer Untersuchung für Verwerfung derselben bestimmend zu werden. Vielmehr wurden Verbesse-

rungen versucht und zwar zunächst durch Rückkehr zu Valentin's Mundmaske oder modificirten Formen derselben, wie solche von Waldenburg und Biedert benutzt wurden, nämlich etwa muschelförmigen, als Endstück des Manometerrohres dienenden Hohlkörpern, die bei ziemlich weit geöffnetem Munde äusserlich auf die Lippen und Kieferränder angedrückt werden. Biedert, von der irrigen Voraussetzung ausgehend, dass die Unterkieferbewegung den ganzen Mechanismus des Mundsaugens ausmache, glaubte den Nutzen seiner Mundmaske wesentlich in der Feststellung des Unterkiefers zu finden und nahm an, dass wenn dieses genügend gesichert, auch das Hineinspielen des Mundsaugens unmöglich sei. Er hat dabei die Eigenbewegung der Zunge als Saugmittel ganz ausser Acht gelassen. Wir wissen aber jetzt, dass diese auch bei Fixirung des Unterkiefers in gesenkter Stellung sehr wirksam, und dass sie überhaupt der mächtigere Factor auch am Manometer ist. (Vergl. S. 91, 106, 113.) Eher käme in Betracht, dass bei weit aufgesperrtem Munde anscheinend eine geringere Neigung vorhanden ist, die anfängliche inspiratorische Stellung des Gaumensegels mit der zum Mundsaugen nöthigen zu vertauschen, wie ich das selbst für wahrscheinlich halte, ohne dass doch ein Verlass darauf wäre.

Mit mehr Vortheil würde sich in diesem Sinne mein Saugspiegel, mit einem Manometsr verbunden, gebrauchen lassen. Nächstdem, dass das beiderseits lästige Andrücken fortfiele, würde dabei der Unterkiefer viel sicherer fixirt und durch die Glasscheibe eine Controle der Vorgänge im Munde ermöglicht sein.

Nächstdem wäre aus dem vorhin von mir aufgestellten Principe noch ein anderer Versuch zur Verbesserung der Mundmethode abzuleiten. Diese Abänderung bestände darin, dass der Versuchsperson die Nase nicht zugeklemmt, sondern ihr überlassen wird, durch Horizontalhaltung des Gaumensegels mit dichtem Anschlusse an den Pharynx die äussere Luft von dem Athemwege abzuhalten. Dass es Individuen giebt, die auf diese Art agiren können, lehren meine im dritten Abschnitte beschriebenen Beobachtungen am Pneumergometer und Kugelheber, an denen es meine Küfer und einige andere Personen bei offener Nase bis zu recht hohem negativem Inspirationsdrucke brachten, eine sogar bis 70 mm Hg. Bei solcher spontanen Absperrung aber ist ein unbemerklicher Uebergang vom inspiratorischen zu solchem Mundsaugen, das den Manometerstand höher heben könnte, nicht möglich; denn während der nöthigen Umstellung des Gaumensegels muss die dichtere Luft aus der Nasen- in die Rachen- und Mundhöhle hineinstürzen und das Manometer rapide fallen machen, worauf sich dann ein neues Steigen anschliessen kann, was sich auch bei absichtlich so probirtem Verfahren bestätigt. Diese negative Schwankung ist gar nicht zu übersehen. Geübtere und erfahrene Personen vermeiden aber von selbst

diese Eventualität. Allein diese Variante der Methode hat einen grossen Fehler, der darin liegt, dass nur in seltenen Fällen auf eine völlig genügende Kraft der Heber des Gaumensegels zu rechnen sein wird. Manchen Personen gelingt das gewünschte Verhalten von vorn herein nicht, indem sie entweder durch Mund und Nase inspiriren oder nur mit der Zunge saugen. Immer aber, auch wo es bis zu einem gewissen Punkte hin gelingt, bleibt der Fehler bestehen, dass die Grenze der Leistung mit von den erwähnten Gaumenmuskeln abhängt, die ja dem Ueberdrucke der Luft mit ganz derselben Kraft entgegenwirken müssen wie die Inspirationsmuskeln selbst, während sie nur in seltenen Fällen eben so stark sein werden wie diese. Vermuthlich werden sich bei Ungeübten auch am Pneumergometer höhere Werthe ergeben, wenn eine Lüftung des Gaumensegels durch äussere Zuklemmung der Nase unschädlich gemacht ist.

Da dem nun aber so ist, so muss ich als die dem Principe nach vollkommenste Verbindungsweise des Manometers mit den Luftwegen diejenige anerkennen, die eigentlich eine Vereinigung der Mund- und Nasenmethode darstellt, nämlich die von Waldenburg eingeführte Mund-Nasen-Maske, welche gleichzeitig Mund und Nase bedeckt und beide Höhlen mit dem Manometerraum in Communication setzt. Biedert hat das auch ganz richtig erkannt und drückt sich so aus: „Vollständig wirkungslos aber wird ein Saugen mit dem Munde auf das Pneumatometer, wenn wie bei der Mundnasenmaske die offenen Nasenlöcher mit in das Ansatzstück genommen werden. Fast die ganze Luft, die jetzt eingesaugt wird, strömt dann aus der offenen Nase, Luftröhre nach, und nur ein winziger Theil aus dem Manometer; das Quecksilber des letzteren wird durch diese Thätigkeit kaum bewegt." Das ist gewiss thatsächlich zutreffend. Ich möchte aber den Vortheil dieser Einrichtung allgemeiner dahin praecisiren, dass sie auf zwei Wegen, und deshalb unabhängig von der Haltung und Bewegung des Gaumensegels, andauernd für die Communication der Lungenluft mit dem Manometer sorgt, nämlich entweder durch den Isthmus faucium oder durch die Nasen- und Rachenhöhle hindurch, und dass damit das im Anfange dieses Abschnittes entwickelte Princip dauernd inne gehalten wird.

Es scheint indessen, dass sich bei der Anwendung der Mundnasenmaske praktische Schwierigkeiten herausgestellt haben, vermuthlich betreffend die Anpassung an verschiedene Gesichtsformen und den luftdichten Schluss. Wenigstens ist es auffallend, dass selbst Biedert später dieses Hülfsmittel nur mehr zur Controle in einzelnen Fällen benutzt, gewöhnlich aber mit der Mundmaske operirt hat, und dass Waldenburg theilweise dazu übergegangen ist, die Maske mit Collodium an die Gesichtshaut anzukleben. Wenn aber solche Unzuträglichkeiten im Wege sind, dürfte sich, meine ich, für viele Fälle doch eine Rückkehr zu der einfachen, ursprüng-

lichen Form der Nasenmethode empfehlen, wie sie Hutchinson und Donder's angewandt haben. Gegen diese hat zwar Ewald den Einwand erhoben, dass ein Nasenloch, überdies zum Theil durch die Röhre verlegt, eine zu enge Communication darstelle, die den Effect beeinträchtige. Dies mag für einzelne Fälle zutreffen, und in diesen könnte der Fehler durch ein gablig getheiltes, in beide Nasenlöcher einzuführendes Rohr auf die Hälfte reducirt werden. Dass aber für gewöhnlich, bei Erwachsenen mit normal geformter Nasenhöhle, jener Einwurf überhaupt nicht begründet ist, dafür scheinen mir meine oben im dritten Abschnitte beschriebenen Beobachtungen einen Beweis zu liefern, welche mit der alten, und zwar nur einseitigen Nasenmethode sehr hohe Inspirationsdrucke ergaben, ja sogar solche, die den mit der Mundmethode an denselben Personen erzielten gleich waren.

Die Nasenmethode betreffend möchte ich nun hier noch eine Beobachtung hinzufügen. Ich wünschte zu erfahren, wie sich bei ihrer Anwendung die Zunge verhalten möge. Dass sie nicht mit saugt war anzunehmen. Weiteres aber lehrte bei mehreren Personen die gleichzeitige Besichtigung der Mundhöhle durch mein Speculum. Wenn bei solcher Mundstellung die Inspiration durch die Nase beginnt, so bleibt die Zunge nicht ruhig, sondern macht eine Bewegung, welche gerade entgegengesetzt derjenigen ist, die wir als charakteristisch für ihre Saugthätigkeit kennen. Sie wird nämlich erhoben, rückwärts gezogen und mit ihrer Wölbung an den Gaumen angepresst. Dies geschieht offenbar, um die Absperrung des Luftweges von der Mundhöhle zu sichern, damit nicht durch Einziehung von Mundluft die Wirkung auf das Manometer abgeschwächt werde. Die Abschliessung kann nämlich in solchem Falle von dem Gaumensegel allein nicht besorgt werden, weil dieses, wie jede Klappe, nur einseitig wirkt, d. h. nur dann, wenn der Ueberdruck auf Seite der Rachenluft ist, so dass durch diesen von hinten her mindestens das Zäpfchen und ein Randstreifen an die Basis der Zunge angepresst werden, während in unserem jetzigen Falle der Ueberdruck der Mundluft die Klappe vielmehr abheben würde. Natürlich ist das Bedürfniss nach solcher Absperrung durch die Zunge noch grösser, wenn die Mundhöhle der äusseren Luft zugängig ist, und es zeigt sich deshalb die gleiche Bewegung und zwar noch energischer dann, wenn das Speculum weggelassen und die Beobachtung einfach bei weit aufgesperrter Mundöffnung angestellt wird. Der Abschluss durch die Zunge gestattet nämlich selbst bei ganz offenem Munde den vollen Effect der nasalen Inspiration auf das Manometer, wie denn überhaupt auf diese Art manche Personen, die den Mund offen halten, trotzdem nur durch die Nase athmen. Bei geschlossenem Munde liegt ja ohnedies meistens die Zunge dem Gaumen an, und es wird dann die beschriebene Bewegung derselben nicht erst nöthig sein.

Nach diesem Excurs in das Gebiet der Pneumatometrie ist noch die Frage zu erörtern, wie sich wohl bei der Arbeit am Pneumergometer oder am Kugelheber hinsichtlich Mithülfe des Mundsaugens die Dinge verhalten mögen.

Ich erwähnte schon oben auf S. 72, dass im Beginne dieser Operation immer auch die Herabzieher des Zungenbeines in Contraction gerathen und besprach die Bedeutung dieser ihrer Mitwirkung für die Förderung des Inspirationsactes selbst. Die Thatsache jedoch, dass dieselbe Erscheinung auch im Mechanismus des Zungensaugens eine wesentliche Rolle spielt, musste die Frage anregen, ob nicht, so sehr auch die inspiratorische Anstrengung im Vordergrund steht, doch nebenher auch der Zungenmechanismus zu Hülfe genommen werde. In dem Saugspiegel hatte ich nun ein Mittel, diese Frage direct zu entscheiden. Das untere Röhrchen desselben wurde durch ein Stück Gummischlauch mit dem Mundstück des Hebers oder Pneumergometers in Verbindung gesetzt und das Instrument von den Küfern auf bewusste Art zwischen Zähne und Lippen genommen. In der That vermochten sie auch so, namentlich wenn eine grössere Hubhöhe vermieden wurde, gegen 1800 ccm Wasser anzusaugen. In der Mundhöhle aber zeigte sich nebst der zu constatirenden Horizontalstellung des Gaumensegels Folgendes. Mit dem ersten Moment der Action wird auch der hinterste Theil der Zunge nach unten und vorwärts gezogen, Wirkung des Hyoglossus, jedenfalls um unter Aufrichtung des Kehldeckels den Zugang zur Kehlkopfshöhle weit offen zu gestalten. Im Uebrigen aber bleibt die charakteristische Abplattung der Zunge und die Gesammtsenkung ihrer vorderen Theile, also die Leistung des Genioglossus zunächst aus. Erst in den letzten Secunden des Saugens, wenn nicht mehr gar viel zum erreichbaren Flüssigkeitsquantum fehlt, gesellen sich die letzterwähnten Theilerscheinungen hinzu, ohne dass jedoch das Gaumensegel seine inspiratorische Horizontalstellung verändert. Es bleibt also die Communication mit den Lungen offen und geht die Inspiration weiter, was auch durch den fortgesetzten Aufstieg der Flüssigkeit bewiesen wird. Unter diesen Umständen kann es aber nach dem oben Erörterten keineswegs geschehen, dass die Zungenmuskeln den Inspirationsmuskeln einen Theil ihres Widerstandes gegen die Druckdifferenz abnehmen, da diese vielmehr dem Zuge der höher steigenden Wassersäule bis zum letzten Augenblicke auch ihrerseits mit entsprechender Kraft das Gleichgewicht halten müssen. Wohl aber kann ihnen in anderer Weise die Hülfe etwas nützen. Die Verhältnisse sind ja hier anders als am Pneumatometer wegen der grossen Menge der eingeathmeten Luft und der entsprechend grossen Erweiterung des Thorax, welche nach meinen im dritten Abschnitte gegebenen Erörterungen zuletzt die Hauptschwierigkeit verursacht. Die Zungendepression wird aber, indem sie

ihrerseits neuen Raum frei macht, dem Brustraume einen wenn auch nur kleinen Theil seiner Erweiterung ersparen und damit auch einen gewissen, in diesem Stadium verhältnissmässig grossen Betrag hinzuwachsender innerer Widerstände. In Folge dessen werden die Einathmungsmuskeln mit dem letzten Aufgebote ihrer Kraft noch eine 1—$1^1/_2$ cm höher angestiegene Wassersäule zu tragen vermögen. So klein der Gewinn ist, so macht sich ihn doch der Saugende zu Nutze, falls er die Aufgabe und das Bestreben hat, das Aeusserste in Hebung der Flüssigkeit zu leisten. Bei Annahme dieses Zusammenhanges ist es jetzt auch sehr begreiflich, warum erst gegen das Ende der ganzen Arbeit der Zungenmechanismus zu Hülfe genommen wird, und dass dies bei Bewältigung kleinerer Volumina überhaupt gar nicht geschieht. — Was hier bei Aufsperrung des Mundes mittels des Saugspiegels zu beobachten war, mag auch dann geschehen, wenn in der gewöhnlichen Weise das röhrenförmige Endstück des Pneumergometers oder Kugelhebers im Munde des Saugenden steckt. Eine gleichzeitige Unterkieferbewegung aber, die allerdings, auch während eine Röhre von den Lippen festgehalten wird, nicht unmöglich ist, habe ich thatsächlich niemals hinzutreten sehen. Es könnte also an Volumen gehobenen Wassers höchstens nur so viel gewonnen werden, als die einmalige Zungendepression neuen Raum schafft, das sind *in maximo* 50 ccm (s. S. 91), und das würde z. B. an meinem Normal-Pneumergometer (Nr. II) für den Werth von H ein Plus von noch nicht $1^1/_2$ cm bedeuten. Hingegen ist es in diesem Falle ganz undenkbar, dass an das Ende der Inspiration ein richtiger, unter Verschluss des Isthmus faucium bewerkstelligter Act des Mundsaugens oder gar eine Reihe solcher mit Summirung ihrer Wirkung sich anschliessen könnten; denn da die Nasenlöcher offen stehen, so müsste in dem Augenblicke, wo das horizontalstehende Gaumensegel gelüftet und von der Wand des Pharynx entfernt würde, von der Nasenhöhle her die dichtere äussere Luft eindringen, den erlangten Effect vernichten und das Wasser in der Saugröhre zurückstürzen. Auch würden derartige Zuthaten bei Beachtung der Halsgegend an dem Auf- und Absteigen des Kehlkopfes leicht zu erkennen sein; dieses zeigt sich aber niemals, vielmehr behält der Kehlkopf seine im Beginne des Saugacts eingenommene tiefe Stellung bis zu dessen letztem Augenblicke inne. Es ist also gewiss, dass von dem Volumen des gehobenen Wassers im äussersten Falle 50 ccm, d. h. weniger als 3 Procent auf Rechnung einer etwaigen Mithülfe der Zunge kommen können, während die erreichte Hubhöhe ganz und gar der Kraft der Inspirationsmuskeln entspricht, und es behält demnach jedenfalls ein solcher Saugact so gut wie ganz den Charakter eines inspiratorischen. In der oben im Abschnitt III berechneten Grösse der Erweiterung des Athmungsraumes würde aber die hier supponirte geringe Erweiterung der Mundhöhle mit eingeschlossen

sein. Diese Bemerkungen mögen zur Ergänzung des dort Erörterten dienen.

Wie wir sahen, ist die Frage einer Combination des inspiratorischen und des Mundsaugens für schwierige Leistungen an Saugröhren von einem gewissen Belange; anderweitig ist sie dies kaum. Wohl ist es denkbar, dass auch sonst beim Einziehen von Luft und anderen absolut oder relativ indifferenten Gasen, z. B. beim Tabak- oder Opiumrauchen, wenn beabsichtigt wird, den Rauch in die Luftröhre zu bekommen, oder auch beim Schlürfen winziger Quantitäten von Getränken zuweilen beide Mechanismen verbunden werden mögen; aber dann geschähe dies unnöthiger Weise und ohne besonderen Nutzen, da die Inspiration für sich allein das Gleiche bewirken würde. Beim eigentlichen Trinken des Menschen aber ist diese Combination gänzlich ausgeschlossen, wie oben bewiesen wurde.

Breslau, November 1887.

Ueber die Beziehung der Dehnungscurve elastischer Röhren zur Pulsgeschwindigkeit.

Von

Dr. E. Grunmach,
Docenten an der Universität in Berlin.[1]

(Aus der speciell-physiologischen Abtheilung des physiologischen Instituts der Berliner Universität.)

(Hierzu Taf. I.)

Aus meinen früheren Versuchen[2] über die Pulsgeschwindigkeit ging hervor, dass dieselbe von der Elasticität und Dicke der Gefässwand, vom Durchmesser des Gefässes, endlich von dem darin herrschenden Seitendrucke beeinflusst werde und zwar, dass sie mit dem Blutdruck wachse und abnehme. Da jedoch über den Einfluss der genannten Factoren auf die Geschwindigkeit der Schlauchwelle in elastischen Röhren noch bis jetzt die verschiedensten Ansichten herrschen, stellte ich an Arterien ausserhalb des Organismus, sowie an Kautschukschläuchen von verschiedener Qualität im hiesigen physiologischen Institute Versuche an, um den Einfluss jedes einzelnen Factors näher kennen zu lernen, und auf diese Weise den Grund für jene Verschiedenheit der Ansichten festzustellen. Hierbei will ich gleich bemerken, dass im Folgenden statt der Bezeichnung „Schlauchwelle" der für den lebenden Organismus gleichbedeutende Ausdruck „Pulswelle" und statt „Geschwindigkeit der Schlauchwelle" die Bezeichnung „Pulsgeschwindigkeit" gebraucht werden wird.

---

[1] Aus dem *Sitzungsbericht der Kgl. Preussischen Akademie der Wissenschaften* vom 17. März (ausgegeben am 24. März) 1887. Hlbbd. I. S. 275—284.

[2] *Dies Archiv.* 1879. S. 418. — Virchow's *Archiv für pathologische Anatomie* u. s. w. 1885. Bd. CII. S. 565.

Betrachten wir zunächst den Einfluss des Seitendrucks, so behauptete E. H. Weber,[1] dass mit steigendem Drucke die Pulsgeschwindigkeit abnehme. Es ergab sich nämlich aus seinen Versuchen an einer vulkanisirten Kautschukröhre von $2 \cdot 75^{cm}$ Durchmesser und $0 \cdot 4^{cm}$ Wanddicke bei 8^{mm} Wasserdruck eine Pulsgeschwindigkeit von $12—8^{m}$, während dieselbe bei 350^{cm} Wasserdruck nur $11—4^{m}$ in der Sekunde betrug. Dagegen konnte Donders[2] bei verschiedenem Drucke an einer ähnlichen Kautschukröhre eine Aenderung der Pulsgeschwindigkeit nicht nachweisen, während Rive[3] wieder zu demselben Resultate wie Weber kam, nur dass er noch grössere Unterschiede wie dieser bei verschiedenem Drucke beobachtete. So fand er in einem Versuche an einer elastischen Röhre von $0 \cdot 94^{cm}$ Durchmesser und $0 \cdot 16^{cm}$ Wanddicke bei einem Druck = Null eine Pulsgeschwindigkeit von $17 \cdot 69^{m}$, während dieselbe bei 480^{cm} Wasserdruck nur $12 \cdot 38^{m}$ in der Secunde betrug. Im Widerspruch zu den genannten Autoren behauptete jedoch Marey,[4] dass mit zunehmendem Seitendrucke auch die Pulsgeschwindigkeit gesteigert werde.

Aehnlich wie über die Wirkung des Seitendrucks herrschen auch über die Bedeutung des Durchmessers die verschiedensten Ansichten. Während z. B. Donders denselben als ohne Einfluss auf die Pulsgeschwindigkeit betrachtete, schrieben Weber und Marey dem Durchmesser eine wichtige Rolle zu, ohne jedoch die Richtung des Einflusses näher anzugeben.

Nur über die Bedeutung des Elasticitätscoefficienten waren die Autoren grösstentheils derselben Ansicht. Fast alle erkannten, dass die Pulswelle mit um so grösserer Geschwindigkeit sich fortpflanze, je grösser der Elasticitätscoefficient sei.

Moens,[5] der sich in eingehender Weise mit der Pulsgeschwindigkeit in elastischen Röhren beschäftigte, kam zu dem Ergebniss, dass sich dieselbe wie die Quadratwurzel aus dem Elasticitätscoefficienten und der Wanddicke der Röhre, jedoch umgekehrt wie die Quadratwurzel aus dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit und dem lichten Durchmesser der Röhre verhalte. Bezeichnete Moens mit V_p den Weg, den der Puls in der Secunde zurücklegt, mit g die beschleunigende Kraft der Schwere, mit E den Elasticitätscoefficienten, mit a die Wanddicke, mit D den lichten

---

[1] *Bericht der Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften.* 1850. — Auch in *diesem Archiv.* 1851. S. 517.

[2] *Physiologie des Menschen.* Uebersetzt von Theile. 1859. S. 79.

[3] *De Sphygmograaf en de sphygmogr. curve.* 1866.

[4] *Physiologie médicale de la circulation du sang.* Paris 1863.

[5] *Die Pulscurve.* Leiden 1878.

Durchmesser, mit Δ das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, endlich mit c eine Constante, so lautete seine Formel:

$$V_p = c\sqrt{\frac{gE\alpha}{\Delta D}}.$$

Es ist dies übrigens dieselbe Formel, zu der Korteweg und Résal[1] auf rein mathematischem Wege für die Pulsgeschwindigkeit in elastischen Röhren gelangten.

Setzen wir in dieser Formel, da g und Δ für die folgende Untersuchung ohne Bedeutung sind, der Einfachheit halber $g/\Delta = c_{,}^{2}$, und $cc_{,} = C$, so folgt:

$$V_p = C\sqrt{\frac{E\alpha}{D}}.$$

An der Hand dieser Formel versuchte ich nun den Werth eines jeden der die Pulsgeschwindigkeit beeinflussenden Factoren näher kennen zu lernen, und zwar legte ich das Hauptgewicht auf die Bestimmung von E, um aus dem Verhalten von E maassgebende Schlüsse auf den Einfluss von α und D ziehen zu können. Der Vorsteher der speciell-physiologischen Abtheilung des physiologischen Instituts, Hr. Dr. Gad, der mich bei dieser Untersuchung freundlichst unterstützte, machte mich darauf aufmerksam, dass der Grund für die Verschiedenheit der Ansichten über die Beziehung zwischen Druck und Pulsgeschwindigkeit vielleicht darin zu suchen sei, dass der Elasticitätscoefficient bei verschiedenen Schlaucharten eine verschiedene Function des Druckes, d. h. des Füllungsgrades darstelle. Wenn auch, wie ich oben anführte, die Autoren darüber einig waren, dass mit Zunahme des Elasticitätscoefficienten eine Steigerung der Pulsgeschwindigkeit einhergehe, so war doch noch zu untersuchen, wie sich der Elasticitätscoefficient bei Aenderung des Druckes oder der Füllung verhalte, und ob dies Verhalten bei verschiedenen Schlaucharten nicht ein ganz verschiedenes sei.

Die Aenderung des Elasticitätscoefficienten eines Schlauches, die mit der Füllungsänderung desselben eintritt, kann entweder dadurch gemessen werden, dass man die Druckänderung bestimmt, welche bei Aenderung der Füllung um die Einheit des Volumens eintritt, oder auch dadurch — und dies war hier bequemer ausführbar — dass man die Füllungsänderung misst, welche durch Aenderung des Druckes um die Einheit (10^{mm} Hg) erzeugt wird. Diese Füllungsänderung, die im Folgenden als „Dehnungswerth" bezeichnet werden wird, ist ein Maass für die Dehnbarkeit des Schlauches, also der Dehnungswerth dem Elasticitätscoefficienten reciprok.

---

[1] *Journal de Mathématiques* par Liouville. 1876.

Zur Bestimmung der Dehnungswerthe diente mir ein graduirtes Glasgefäss (A. Fig. 1 auf Taf. I.), das einerseits mit dem zu untersuchenden Schlauche (S) und einem Quecksilbermanometer (M), andererseits mit einer Druckflasche (D) communicirte, die mit dem Wasserleitungshahn in Verbindung stand. Als Druck erzeugende Kraft wirkte der in der Leitung herrschende Wasserdruck, der beliebig von 0—250^{mm} Hg verändert wurde. Je nach der Menge des in die Druckflasche fliessenden Wassers konnte die Luft in derselben beliebig stark comprimirt, zugleich damit der zu untersuchende Schlauch beliebig stark gefüllt, die Druckänderung an dem Quecksilbermanometer, die Füllungsänderung an dem graduirten Glasgefäss abgelesen werden.

Hr. Dr. Gad hatte die Güte, die Volumänderung im Glasgefäss mir anzugeben, welche jedesmal, wenn ich eine Druckänderung um 10^{mm} Hg beobachtete, eingetreten war. Aus den zusammengehörigen Werthen von Druck- und Volumänderung am Schlauch konnte die Dehnungscurve des letzteren leicht construirt werden.

Zur Erzeugung der Pulswelle wurde ein dickwandiger Gummiballon (B. Fig. 1), der mit dem zu untersuchenden Schlauche communicirte, aber bei Feststellung der Dehnungswerthe ausgeschaltet wurde, gleichmässig, d. h. bei allen Versuchen in derselben Weise und in demselben Maasse comprimirt. Mein Polygraphion[1] diente zur Bestimmung der Pulsgeschwindigkeit, und zwar wurde dieselbe in der Mehrzahl der Fälle bei einem Drucke von 0, von 100 und von 200^{mm} Hg festgestellt. Gleich nach der Aufnahme der Pulscurven fand die Bestimmung der Dehnungswerthe im Gebiet der angewandten Druckwerthe statt.

Wie ich bereits andeutete, wurde die Untersuchung einerseits an Kautschukschläuchen verschiedener Qualität, deren Länge etwa 1·5^{m}, deren lichter Durchmesser etwa 2^{cm} und deren Wanddicke etwa 2^{mm} betrug, andererseits an möglichst (45—50^{cm}) langen Stücken der Aorta des Pferdes ausgeführt.

Betrachten wir zunächst die unter verschiedenen Bedingungen an einem schwarzen Patentschlauche (I) gewonnenen Dehnungswerthe, so stellte sich zwischen den bei niedrigem und den bei hohem Drucke beobachteten folgendes Verhältniss heraus. Die Dehnungswerthe von 0—60^{mm} Hg Druck verhielten sich zu den von 140—200^{mm} Hg Druck wie 8 : 15. Dieser Unterschied bei verschiedenem Drucke liesse sich am Besten an einem rechtwinkligen Coordinatensystem veranschaulichen, wenn wir uns auf der Abscissenaxe die Druck-, auf der Ordinatenaxe die Dehnungswerthe

[1] Verhandlungen der Berliner physiologischen Gesellschaft. In *diesem Archiv* 1880. S. 438.

aufgetragen denken, etwa wie dies durch Fig. 2 dargestellt wird. Alsdann würden sich die den Dehnungswerthen entsprechenden Ordinatenstücke bei niedrigem Drucke zu den bei hohem wie *fg* und *kl* zu *mn* und *pq* verhalten, und der Verlauf der Dehnungscurve bei Drucksteigerung von 0—200^{mm} Hg sich etwa wie Curve *xz* in Fig. 2 gestalten. Aus dieser Darstellung ersieht man, dass mit Zunahme des Druckes auch eine Zunahme der Dehnungswerthe einhergeht.

Setzen wir nun an Stelle der letzteren ihre reciproken Werthe, nämlich die der Elasticitätscoefficienten, so würde sich $E_0 : E_{200} = 15 : 8$ verhalten, also E mit steigendem Druck kleiner geworden sein.

Betrachten wir dagegen die anderen die Pulsgeschwindigkeit beeinflussenden Factoren D und α bei verschiedenem Drucke, so ergab deren Berechnung, zu welcher die Messungen der die Druckänderungen begleitenden Volumänderungen, sowie der Schlauchlängen[1] die Grundlage lieferten, dass sich

$$D_0 : D_{200} = 1 \cdot 8 : 2 \cdot 0 \text{ und}$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 2 \cdot 0 : 1 \cdot 8 \text{ verhält.}$$

Aus diesen Zahlenwerthen ersieht man, dass der Unterschied zwischen D_0 und D_{200}, sowie α_0 und α_{200} nur ein ganz unbedeutender, dass dagegen das Verhältniss von $E_0 : E_{200}$ nahezu wie 2 : 1 ist.

Entsprechend diesem Verhalten von E bei verschiedenem Drucke fielen auch die Werthe für die Pulsgeschwindigkeit aus. Während dieselbe bei 0^{mm} Hg Druck 17·5^{m} in der Secunde betrug, war dieselbe bei 200^{mm} Hg Druck bis auf 11·6^{m} herabgegangen.

Ein durchaus entgegengesetztes Verhalten sowohl bezüglich der Dehnungswerthe als auch der Pulsgeschwindigkeit zeigte derselbe Patentschlauch, nachdem er mit einer 5^{cm} breiten Leinwandbinde bei 120^{mm} Hg Druck umwickelt und darauf bei verschiedenem Drucke von 0—200^{mm} Hg untersucht wurde. Unter dieser Behandlung verhielten sich nämlich die Dehnungswerthe von 0—60^{mm} Hg Druck zu denen von 140—200^{mm} Hg Druck wie 5 : 3. Dies Verhältniss liesse sich wieder am Besten an einem rechtwinkeligen Coordinatensystem veranschaulichen, wenn wir uns die Druck- und Dehnungswerthe in derselben Weise wie in Fig. 2 aufgetragen denken, etwa wie dies durch Fig. 3 dargestellt wird. Alsdann würden sich die den Dehnungswerthen entsprechenden Ordinatenstücke bei niedrigem Drucke zu den bei hohem wie *FG* und *KL* zu *MN* und *PQ*, und die Dehnungscurve des Schlauches bei Drucksteigerung von 0—200^{mm} Hg etwa wie Curve *XZ* in Fig. 3 verhalten.

---

[1] Genaue Messungen der mit Füllungsänderung eintretenden Längenänderung ergaben, dass diese für die Berechnung zu vernachlässigen ist.

Aus dieser Darstellung ergiebt sich, dass mit Steigerung des Druckes die Dehnungswerthe eine Abnahme erfahren. Setzen wir wieder an Stelle derselben die reciproken Werthe, so würde sich

$$E_0 : E_{200} = 3 : 5$$

verhalten, also E mit zunehmendem Drucke grösser geworden sein.

Dagegen ergab die Berechnung von D und α bei den entsprechenden Druckwerthen folgende Verhältnisse:

$$D_0 : D_{200} = 1{\cdot}8 : 1{\cdot}95 \text{ und}$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 1{\cdot}95 : 1{\cdot}8.$$

Aus diesen Zahlenwerthen ersieht man, dass auch nach der angegebenen Behandlung des Patentschlauches der Unterschied von D und α bei Drucksteigerung von 0 — 200^{mm} Hg nur ein unbedeutender ist, während sich $E_0 : E_{200}$ hier nahezu wie 1 : 2 verhält. Entsprechend diesem Verhalten von E zeigte sich auch die Pulsgeschwindigkeit bei den genannten Druckwerthen beeinflusst. Bei 0^{mm} Hg Druck pflanzte sich die Pulswelle 17·5^{m} in der Secunde fort, während dieselbe bei 200^{mm} Druck in derselben Zeit einen Weg von 28^{m} zurücklegte.

In ähnlicher Weise wie an dem Patentschlauche wurde die Untersuchung an einer anderen, grauen, vulkanisirten Kautschukröhre (II) ausgeführt. Dabei stellte sich ein ähnliches Verhältniss der Dehnungswerthe bei niedrigem Drucke zu denen bei hohem heraus, wie wir es bei dem Patentschlauche vor der Umwickelung beobachteten. Es verhielten sich nämlich die Dehnungswerthe von 0 — 60^{mm} Hg Druck zu denen von 140 — 200^{mm} Hg Druck wie 9·5 : 16·5 und die diesen Werthen entsprechenden Ordinatenstücken wie fg und kl zu mn und pq in Fig. 4.

Demnach gestaltete sich die Dehnungscurve bei Drucksteigerung von 0—200^{mm} Hg etwa wie Curve xz (Fig. 4).

Setzen wir wieder an Stelle der Dehnungswerthe die für den Elasticitätscoefficienten, so folgt

$$E_0 : E_{200} = 16{\cdot}5 : 9{\cdot}5.$$

Ferner ergab die Berechnung von D und α bei den entsprechenden Druckwerthen

$$D_0 : D_{200} = 2{\cdot}0 : 2{\cdot}3 \text{ und}$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 2{\cdot}3 : 2{\cdot}0.$$

Aus diesen Werthen ersieht man wieder, wie bei dem ersten Schlauche, den geringen Unterschied von D und α bei Drucksteigerung, während derselbe wieder für E ein sehr auffälliger ist. Entsprechend dem Verhältniss von $E_0 : E_{200}$ war auch das Verhalten der Geschwindigkeit. Bei 0^{mm} Hg

Druck pflanzte sich die Welle $17 \cdot 5^{m}$ in 1 Secunde fort, dagegen betrug der Weg bei 200^{mm} Druck nur $12 \cdot 72^{m}$.

Während es aber bei dem Patentschlauche gelungen war, die gegen die Abscisse convexe Dehnungscurve durch die Umwickelung gegen die Abscisse concav zu machen und dem entsprechend den Sinn der Abhängigkeit der Pulsgeschwindigkeit von dem Füllungsgrade geradezu umzukehren, erstreckte sich bei dem zweiten Schlauche der Einfluss der Umwickelung nur so weit, dass die Dehnungscurve linear und die Pulsgeschwindigkeit von dem Füllungsgrade unabhängig wurde. Nach der Umwickelung boten nämlich die Dehnungswerthe bei Drucksteigerung von $0-200^{mm}$ Hg keine wesentliche Differenz. Die den Dehnungen entsprechenden Ordinatenstücke verhielten sich bei verschiedenem Drucke wie *FG* und *KL* zu *MN* und *PQ* in Fig. 5 und die Dehnungscurve gestaltete sich etwa wie Curve *XZ* in Fig. 5. Hierbei ergab die Berechnung der Werthe E, D und α bei verschiedenem Drucke folgende Verhältnisse:

$$E_0 : E_{200} = 5 \cdot 5 : 5 \cdot 5$$
$$D_0 : D_{200} = 1 \cdot 9 : 2 \cdot 0 \text{ und}$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 2 \cdot 0 : 1 \cdot 9.$$

Daraus ersieht man, dass E bei Drucksteigerung keine Aenderung erfahren hat. Entsprechend diesem Verhalten von E zeigte auch die Pulsgeschwindigkeit bei verschiedenem Drucke keine Differenz. Sowohl bei niedrigem wie bei hohem pflanzte sich die Pulswelle in einer Secunde $18 \cdot 6^{m}$ fort.

Ein ähnliches Resultat wie die Untersuchung des zweiten Schlauches ergab die eines dritten (III), der aus einer schlechteren, grauen, vulkanisirten Kautschukmasse hergestellt war. Es seien hier nur kurz die Werthe für E, D und α, sowie die für V_p (Pulsgeschwindigkeit) angegeben, aus denen das Ergebniss der Untersuchung klar ersichtlich ist.

Vor der Umwickelung verhielten sich

$$E_0 : E_{200} = 12 \cdot 5 : 7 \cdot 0$$
$$D_0 : D_{200} = 2 \cdot 0 : 2 \cdot 2$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 2 \cdot 2 : 2 \cdot 0$$
$$\overline{V_{p0} : V_{p200} = 20 \cdot 7^{m} : 14 \cdot 5^{m}.}$$

Dagegen ergab die Berechnung der entsprechenden Werthe nach der Umwickelung

$$E_0 : E_{200} = 5 : 5$$
$$D_0 : D_{200} = 2 \cdot 0 : 2 \cdot 2$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 2 \cdot 2 : 2 \cdot 0$$
$$\overline{V_{p0} : V_{p200} = 22 \cdot 3^{m} : 22 \cdot 3^{m}.}$$

Von den untersuchten Schläuchen wurden also vor der Umwickelung Dehnungscurven gewonnen, wie sie in Figg. 2 und 4 zur Darstellung gelangten, aus denen man ersah, dass mit Zunahme des Druckes eine Abnahme des Elasticitätscoefficienten einhergehe. Entsprechend dem Verlaufe der Dehnungscurven fielen die Werthe für die Pulsgeschwindigkeit aus. Bei hohem Drucke nahmen die Dehnungswerthe zu, zugleich damit pflanzte sich die Pulswelle langsamer als bei niedrigem fort.

Wenn ich nun über die am Arterienrohr angestellten Versuche berichte, so ist hervorzuheben, dass dieselben zu Resultaten führten, die sich den an Kautschukschläuchen gewonnenen in erfreulicher Weise anreihen. Es ergab sich nämlich, dass die Dehnungscurve der Aorta derjenigen des umwickelten Patentschlauches ähnelt, nur dass bei ersterer die Concavität gegen die Abscisse weit mehr ausgeprägt erscheint. Die Versuche wurden an der Aorta des Pferdes in derselben Weise wie an den Kautschukröhren ausgeführt. Bei dem zuerst untersuchten Gefässe verhielten sich die Dehnungswerthe von 0—60^{mm} Hg Druck zu den bei 160—200^{mm} Hg Druck wie 151·5 : 14·0, und die den Dehnungswerthen entsprechenden Ordinatenstücke wie *fg* und *kl* zu *mn* und *pq* in Fig. 6.

Demnach gestaltete sich der Verlauf der Dehnungscurve bei Drucksteigerung von 0—200^{mm} Hg etwa wie Curve *xz* in Fig. 6.

Aus dieser Darstellung ersieht man, dass mit Zunahme des Druckes die Dehnungswerthe auffallend kleiner werden. Setzen wir an Stelle derselben die für den Elasticitätscoefficienten, so verhält sich

$$E_0 : E_{200} = 14 \cdot 0 : 151 \cdot 5.$$

Ferner ergab die Berechnung von D und α, sowie von V_p bei den entsprechenden Druckwerthen folgende Verhältnisse:

$$D_0 : D_{200} = 2 : 6$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 6 : 2$$
$$V_{p0} : V_{p200} = 3 \cdot 16^m : 9 \cdot 5^m.$$

Aus diesen Zahlenwerthen ersieht man die wichtige Thatsache, dass trotzdem der Durchmesser bei Drucksteigerung von 0—200^{mm} Hg um das Dreifache zunimmt, also in hohem Grade hemmend auf die Pulsgeschwindigkeit wirken muss, doch der Einfluss von E ein so bedeutender ist, dass unter demselben die Pulswelle bei D_{200} sich noch dreimal schneller als bei D_0 fortpflanzt.

Zu demselben Ergebniss wie die Untersuchung der ersten Aorta führten die mit einer anderen angestellten Versuche. Auch hier verhielten sich die Dehnungswerthe sowie der Verlauf der Dehnungscurve bei verschiedenem Drucke in ähnlicher Weise, wie dies durch Fig. 6 veranschaulicht wurde.

Ich will hier nur in Kürze die Werthe für E, D und α, sowie von V_p anführen, aus denen das Ergebniss der Untersuchung klar ersichtlich ist:

$$E_0 : E_{200} = 7 \cdot 5 : 96 \cdot 0$$
$$D_0 : D_{200} = 2 \cdot 8 : 6 \cdot 0$$
$$\alpha_0 : \alpha_{200} = 6 \cdot 0 : 2 \cdot 8$$
$$\overline{V_{p0} : V_{p200} = 3 \cdot 3^{\text{m}} : 8 \cdot 0^{\text{m}}.}$$

Auch aus diesen Zahlenwerthen ergiebt sich, dass D von 0—200 mm Hg Druck fast um das Dreifache zugenommen, dass jedoch trotz dieses hemmenden Einflusses von D die Pulsgeschwindigkeit entsprechend der Zunahme von E bei 200 mm Hg Druck eine Steigerung fast um das Dreifache erfahren hat.

Wir ersehen aus der vorstehenden Untersuchung, dass die Pulsgeschwindigkeit in elastischen Röhren wesentlich von dem Verhalten der Dehnungscurve abhängt, d. h. dass sie in dem Sinne von dem Druck oder der Füllung beeinflusst wird, in welchem diese den Elasticitätscoefficienten ändern. Von der Zunahme des letzteren ist in erster Linie die Steigerung der Pulsgeschwindigkeit abhängig, dagegen spielen die anderen Factoren D und α (Durchmesser und Wanddicke) nur eine untergeordnete Rolle. Die Dehnungscurven der von mir untersuchten Aorten reihen sich in schöner Weise denen an, die ich von Schläuchen aus nicht organisirtem Material gewonnen habe. Hierbei ist gewiss nicht bedeutungslos, dass von letzteren der mit unelastischer Binde umwickelte, gut elastische Patentschlauch der Aorta am nächsten kommt. Auch die Aorta besteht aus einer elastischen Grundlage, deren Dehnbarkeit an unnachgiebigen, bindegewebigen Elementen eine Grenze findet.

Doch ist zu bemerken, dass auch ohne diesen Umstand die Aorta sich dem mit der Binde umwickelten Schlauche ähnlich verhalten würde. Bekanntlich hatte schon Wertheim für die meisten thierischen Gewebe,[1] Ed. Weber für die Muskeln[2] nachgewiesen, dass die thierischen Gewebe im feuchten Zustande nicht das von Robert Hooke und s'Gravesande für die unorganischen Elastica festgestellte Dehnungsgesetz befolgen, sondern dass ihre Dehnungen in langsamerem Maasse als die dehnenden Kräfte wachsen: ein Verhalten, welches Hr. Prof. E. du Bois-Reymond seit langer Zeit in seinen Vorlesungen vermuthungsweise darauf zurückführt, dass die Incompressibilität des Wassers die Gewebe verhindert, bei der Dehnung ihr Volumen zu verändern, wie dies die unorganischen Elastica

[1] *Comptes rendus* etc. 1846. C. XXXIII. p. 1151.

[2] Rud. Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie* u. s. w. Artikel Muskelbewegung. Bd. III. 2. Abth. 1846. S. 109.

thun. Besonders verfolgt und bestätigt gefunden wurde dies Verhalten schon mit Rücksicht auf seine Bedeutung für die Pulswelle durch Moens an der elastischen Wand der grossen Arterien.[1] Es leuchtet ein, dass sich daraus für unseren Fall die wirklich beobachtete Gestalt der Dehnungscurve ergeben müsse.

Die Verschiedenheit der Ansichten über den Einfluss des Seitendruckes auf die Pulsgeschwindigkeit lässt sich jetzt einfach durch die Verschiedenheit des Schlauchmaterials erklären, das die einzelnen Autoren zu ihren Versuchen benutzten. Weber arbeitete wahrscheinlich mit Schläuchen, wie sie mir zur Verfügung standen, Donders mit einem Kautschukmaterial, das sich ähnlich wie Schlauch II und III nach der Umwickelung verhielt, endlich Marey mit Kautschukröhren, die die Eigenschaften des umwickelten Patentschlauches besassen.

Auf Grund meiner Eingangs erwähnten, an lebenden Arterien gewonnenen Resultate und der hier mitgetheilten gelangen wir zu dem Schlusse, dass auch die Dehnungscurve der lebenden Arterie sich ähnlich wie die der todten verhalten wird, dass also bei Steigerung des Druckes der Elasticitätscoefficient und zugleich damit auch die Pulsgeschwindigkeit zunehmen muss.

---

[1] A. a. O. S. 104.

Die Analyse der Lichtwellen durch das Auge.

Ein Beitrag zur Erklärung der Farbenempfindung.

Von

Professor A. Göller
in Stuttgart.

(Hierzu Taf. II.)

Bei der Schallempfindung sind die Thatsachen der Erfahrung im Einklang mit der einfachen Annahme, dass jeder Welle der äusseren Luftschwingung die Hin- und Herbewegung einer Faser in einem mitschwingenden Apparat des Gehörorgans entspreche. Das Empfindungselement des Gehörs als Schwingung der einzelnen Faser entspricht nach Zeitdauer und Stärke dem Element des äusseren Bewegungsvorganges; die Analyse des letzteren durch den inneren Vorgang ist eine vollständige. Das ist beim Auge entschieden anders; es analysirt den äusseren Bewegungsvorgang nur unvollkommen und antwortet oft verschiedenen Bewegungsformen mit derselben Empfindung, indem verschiedene Paare von Grundfarben genau dasselbe Aussehen der Mischfarbe ergeben können. Es giebt kein Empfindungselement des Auges, das einer Welle der Aetherschwingung entsprechen würde; freilich wäre auch ohne jene Thatsache der Farbenmischung eine Anpassung der Bewegung im Nerven an die unendlich schnelle Aetherbewegung kaum zu vermuthen. Dadurch ist eine Erklärung des Zustandekommens der Lichtempfindung weit schwieriger, als eine solche für den Schall. Bei diesem ist die Erklärung dadurch so befriedigend, dass als Erklärungsgrund ein längst bekanntes mechanisches Gesetz erscheint. Offenbar kann auch das Streben nach Erklärung der Gesichtsempfindung nicht ruhen, so lange nicht derselbe Erklärungsgrund erreicht ist. — So lange nicht alle physiologischen Vorgänge der Lichtempfindung als innere Bewegungsvorgänge erkannt sind, die nach den Gesetzen der Mechanik

vom äusseren Bewegungsvorgang nothwendig hervorgerufen werden oder einander nothwendig hervorrufen, so lange hört das Warum nicht auf.

Die folgende Hypothese erfüllt diese Forderung wenigstens in Beziehung auf den Anfang der Umsetzung des äusseren Bewegungsvorganges in einen inneren; sie behauptet für die Analyse der Lichtwellen durch das Auge die Verwerthung einer bekannten, als Bewegungsvorgang schon deutlichen physikalischen Erscheinung aus der Lehre vom Licht und begründet mit deren Hülfe nicht nur die bisher unerklärten Ergebnisse der Mischung farbiger Lichter, sondern weist auch den äusseren anatomischen Bestandtheilen der Netzhaut eine einleuchtende Aufgabe zu.

„Jedes farbenempfindende Nervenendgebilde der Netzhaut ist fähig, alle Empfindungen der Spectral- und Mischfarben mit allen Abstufungen der Lichtstärke, sowie diejenigen von Weiss, Schwarz und Grau mit allen Uebergängen zu erzeugen. Jeder solchen Empfindung entspricht eine besondere Form des Bewegungsvorganges in der Nervenfaser. Die Bewegung ist eine Schwingung von Aethertheilchen oder Theilchen eines Nervenfluidums, und zwar senkrecht zur Axe des Nerven, wie diejenige des Aethers im Raum senkrecht zur Axe des Lichtstrahls ist. Die Wellenlängen und die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten dieser Schwingungen in der Nervenfaser sind immer dieselben. Dem einfachen homogenen Licht einer Spectralfarbe entspricht auch die einfachste Schwingungsform, wie sie dargestellt ist durch die ebene Sinuswellenlinie, die Schwingungsform des einfarbigen, geradlinig polarisirten Lichtstrahls. Das ist so zu verstehen, dass alle Theilchen eines Querschnitts wie beim Licht gleichgerichtete, gerade und gleichgrosse Schwingungen durch ihre Gleichgewichtslage hindurch und wieder zurück ausführen.

Dabei unterscheiden sich die Empfindungen der verschiedenen Spectralfarben durch die verschiedenen Richtungen ihrer Schwingungsebenen, derart, dass die Schwingungsrichtung für eine Farbe etwa demjenigen Halbmesser der Figur auf Taf. II entspricht, dem ihre Wellenlänge in Zehnmilliontelmillimetern beigeschrieben wurde. Was in der Figur horizontale und lothrechte Richtung ist, das wäre in irgendwelcher Weise ausgezeichnete Richtung im Querschnitt der Nervenfaser, ausgezeichnet etwa wie die Axenrichtungen der Krystalle durch die innere Structur. Die in der Figur horizontale Schwingungsrichtung ab ist unerreichbar; sie entspricht dem Verschwinden der Lichtempfindung bei Strahlen jenseits Roth und jenseits Violett. Mit geringer Neigung, etwa symmetrisch zur lothrechten Axe unserer Figur, schwingen Roth und Violett. Unter 45°, ebenfalls symmetrisch, schwingen Gelb und Blau. Lothrecht ist die Richtung der

Schwingung für Grün, für die neutrale Empfindung zwischen den warmen und kalten Farben.

Die gleichzeitig vor sich gehenden Schwingungen etwa gleichzeitig auf die Nervenfaser einwirkender einfacher Farben unterscheiden sich auch noch durch die Stellung der Phasen ihrer Wellen, welche von der Schwingungsrichtung 0° bis zur Schwingungsrichtung 180° eine Verschiebung der Wellenscheitel darbieten gleich der Hälfte der Wellenlänge l (Wellenberg und Wellenthal zusammen gleich l), und zwar ist die Verschiebung proportional dem Centriwinkel, so dass sie gegenüber der (unerreichbaren) horizontalen Schwingung betragen würde bei Gelb $^1/_8\, l$, bei Grün $^1/_4\, l$, bei Blau $^3/_8\, l$, bei 180° $^1/_2\, l$. Ist der Winkel der Schwingungsrichtungen zweier gleichzeitig erscheinender einfacher Farben gleich α, so ist eine Schwingung der andern voraus um $\frac{l}{2} \cdot \frac{\alpha}{180^0}$.

Die Stärke der Empfindung richtet sich nach der Intensität der Schwingung."

Dies sind alle Annahmen der Hypothese. Die geradlinige Schwingung nach irgend einer Richtung senkrecht zur Nervenaxe ist Empfindungselement des Auges.

Die Bewegung jeder Mischung aus zwei Spectralfarben setzt sich nun aus den zwei einfachen Wellen derselben zusammen nach dem Parallelogramm der Bewegungen. Es entsteht die Schwingungsform des elliptisch-polarisirten Lichtstrahls; die Theilchen beschreiben um ihre Gleichgewichtslage elliptische Bahnen, sehr längliche, wenn die zwei gemischten Grundfarben im Spectrum nahe beisammen liegen, vollere Ellipsen bei grösserer Entfernung, kleine Bahnen bei geringer Lichtstärke, grössere bei intensivem Licht. Sind die gemischten Farben ungleich stark, so liegt die grosse Axe der entstehenden Ellipse der Schwingungsrichtung der stärkeren Farbe näher. Bei zwei Complementärfarben (Roth und Grünblau, Gelb und Blau, Grüngelb und Violett, und bei allen anderen in der Figur durch Quadranten verbundenen Richtungen) stehen die Schwingungsrichtungen senkrecht zu einander und ihre Wellenzüge haben nach der getroffenen Annahme eine Phasenverschiedenheit von $^1/_2\, l$. Dies sind unter der Voraussetzung gleicher Amplitude beider Wellenzüge die Bedingungen für die Bewegungsform des kreisförmig polarisirten Lichtstrahls, bei welchem die Theilchen sich im Kreis um ihre Ruhelage bewegen. Es geht jene Ellipse bei Complementärfarben in den Kreis über.

Davon, dass unter den vorausgesetzten Bedingungen die elliptischen, beziehungsweise kreisförmigen Bahnen wirklich entstehen, überzeugt man

sich am raschesten durch graphische Construction, indem man auf den zwei Schwingungsrichtungen je die gleichzeitigen Ordinaten der Wellenzüge aufträgt und die Resultirenden durch das Parallelogramm bestimmt; auch wird hierdurch die entstehende Schwingungsform auf dem anschaulichsten Weg erhalten. Kreisförmige Bahnen können nur durch zwei senkrecht zu einander stehende Schwingungen gleicher Amplitude erzeugt werden, nicht etwa auch durch schiefwinklig zu einander stehende Schwingungen ungleicher Amplitude.

Die zu den vorhandenen Bewegungsformen gehörigen Empfindungen sind nun die folgenden:

1. Bei der geradlinigen Schwingung: Spectralfarbe nach Angabe der Figur. Mit Abnahme der Amplitude bis Null geht die Farbe durch alle Grade der Dämpfung in Schwarz über.

2. Bei der kreisförmigen Schwingung ist keine Richtung oder sind alle Richtungen gleichmässig vertreten; die Empfindung ist diejenige keiner Farbe oder aller zugleich. Es giebt nur eine Gruppe solcher Empfindungen: Weiss mit seinen Abstufungen von Grau bis Schwarz. Complementäre Farben ergeben bei gleicher Amplitude ihrer Schwingung die kreisförmige Bahn, also Weiss. Mit Abnahme des Durchmessers geht die Empfindung Weiss durch Grau in Schwarz über.

3. Die elliptischen Bahnen stellen dar die Uebergänge von einer geradlinigen zur kreisförmigen Bahn; sie sprechen auch alle Richtungen aus, aber eine am stärksten, entsprechen daher der Mischung einer Spectralfarbe mit Weiss, und zwar derjenigen Spectralfarbe, deren Schwingungsrichtung mit der grossen Axe der Ellipse zusammenfällt. Je länglicher die Ellipse, desto grösser die Annäherung an diese Spectralfarbe, je rundlicher die Ellipse, desto stärker die Zumischung von Weiss, desto geringer die Sättigung. Zusammengefasst: der Richtung der grossen Axe entspricht die empfundene Farbe, dem Verhältniss beider Axenlängen der Grad der Sättigung, dem Quadrat des Umfangs der Ellipse die Stärke der Lichtempfindung. Mit der Abnahme der Ellipse unter gleichbleibendem Axenverhältniss geht die empfundene Farbe in Schwarz über.

Eine bestimmte elliptische Bahn kann auf verschiedene Arten zu Stande kommen, nämlich durch Zusammensetzung einer kreisförmigen Bewegung mit einer geradlinigen, oder durch Zusammensetzung einer elliptischen Bahn mit einer geradlinigen, oder durch Zusammensetzung von zwei geradlinigen oder durch Zusammensetzung von zwei elliptischen Bahnen, und zwar giebt es nicht nur ein Paar geradliniger, nicht nur ein Paar elliptischer Schwingungen, welche eine gegebene elliptische Bahn erzeugen können.

In dieser Thatsache findet ihren Ausdruck die Unvollständigkeit der Analyse, die das Auge an den Lichterscheinungen ausübt. Viele verschiedenartige Mischungen farbiger Lichter können übereinstimmende Lichtempfindungen erzeugen. H. Helmholtz beschreibt die hierher gehörigen Beobachtungen wie folgt:

„Der Farbeneindruck, den eine gewisse Quantität beliebig gemischten Lichtes macht, kann stets auch hervorgebracht werden durch Mischung einer gewissen Quantität a weissen Lichtes und einer gewissen Quantität b einer gesättigten Farbe (Spectralfarbe oder Purpur) von bestimmtem Farbentone. . . . .“

„Wenn nun eine und dieselbe Stelle der Netzhaut gleichzeitig von Licht zweier oder mehrerer verschiedener Grade der Schwingungsdauer getroffen wird, so entstehen neue Arten von Lichtempfindungen, welche im Allgemeinen von denen der einfachen Farben des Spectrum verschieden sind, und welche das Eigenthümliche haben, dass aus der Empfindung der zusammengesetzten Farbe nicht erkannt werden kann, welche einfachen Farben in ihr enthalten sind. Es lässt sich vielmehr im Allgemeinen die Empfindung jeder beliebigen zusammengesetzten Farbe durch mehrere Arten der Zusammensetzung verschiedener Spectralfarben hervorbringen, ohne dass es auch dem geübtesten Sinnesorgane möglich wäre, ohne Hülfe physikalischer Instrumente zu ermitteln, welche einfachen Farben in dem zusammengesetzten Lichte verborgen sind.“

„Durch Mischung von mehr als zwei homogenen Farben bekommen wir nun keine neuen Farben mehr, sondern die Zahl derselben ist durch die Mischungen je zweier einfacher Farben schon erschöpft, ja wir haben schon bei den letzteren Mischungen gefunden, dass die meisten Mischfarben durch verschiedene Paare von einfachen Farben erzeugt werden konnten. Die Mischungen von zusammengesetzten Farben haben im Allgemeinen dasselbe Ergebniss wie die Mischungen der gleichnamigen Spectralfarben; nur fällt die Mischung um so weisslicher aus, als die gemischten Farben selbst schon weisslicher sind als Spectralfarben.“

„Wir haben gesehen, dass alle Verschiedenheit des Lichteindrucks als die Function dreier unabhängig veränderlicher Grössen betrachtet werden kann: 1) die Quantität Weiss, 2) die Wellenlänge einer Spectralfarbe, 3) die Quantität dieser Spectralfarbe.“[1]

Wenn die Aufgabe gestellt wäre, die hier im Auszug gegebenen Thatsachen nicht zu erklären, nur bildlich auszudrücken, so gäbe es keine bessere Figur hiezu als die Ellipse mit Beifügung der Arten ihres Entstehens aus den Projectionen jener Bahnen. Insbesondere sind die zu-

[1] S. H. Helmholtz, *Physiologische Optik*. S. 272—299.

letzt genannten drei Variabeln unmittelbar an der Ellipse abzulesen. Die Quantität Weiss ist der in die Ellipse concentrisch einbeschriebene Kreis; die Wellenlänge ist ausgedrückt durch die Richtung der grossen Axe; die Quantität der Spectralfarbe ist ausgedrückt durch das Maass auf der grossen Axe zwischen dem Kreis und dem Scheitel der Ellipse. Die übrigen zu diesem Maass parallelen Abstände beider Linien sind die kleineren Ordinaten der ebenen Wellenlinie der Spectralfarbe. Die Thatsachen, dass die Mischungen von zwei im Spectrum einander naheliegenden Farben noch sehr gesättigte Farbentöne geben und dass die entstehenden Mischfarben um so mehr in's Weisse ziehen, je mehr sich die Grundfarben im Spectrum von einander entfernen, finden in den schlanken oder rundlichen Formen der entstehenden Ellipsen ihren unmittelbaren Ausdruck.

4. Liegen die gemischten Grundfarben bei gleicher Amplitude ihrer Schwingungen ausserhalb zweier Complementärfarben, so entsteht eine Ellipse, deren grosse Axe in die kleineren, nicht mit Zahlen bezeichneten Sectoren unserer Figur zu liegen kommt, also keiner Spectralfarbe mehr entspricht.

Nimmt man z. B. Roth und Violett, so entsteht bei genau symmetrischer Lage beider Schwingungsrichtungen eine elliptische Bahn, deren grosse Axe mit der Horizontalen $a\,b$ unserer Figur zusammenfällt. Die gerade Schwingung auf der Horizontalen ist also zwar nicht selber erreichbar, aber es kann diese Schwingungsrichtung durch die grosse Axe einer Ellipse ausgesprochen werden, die um so länglicher wird, je grösser der Winkel zwischen den Schwingungsrichtungen der zwei Grundfarben. Dieser Ellipse muss ein neuer Farbeneindruck entsprechen, da es keine Spectralfarbe ihrer Richtung giebt; es ist der Purpur. Man könnte hier die Sättigung der Purpurfarbe entgegenhalten und verlangen, dass sie ebenfalls eine geradlinige Schwingung haben solle wie die Spectralfarben. Aber der Purpur, der aus der Mischung von Roth und Violett entsteht, ist in der That nicht die satte Farbe, die man sonst Purpur nennt, sondern etwas weisslich und erreicht bei weitem nicht die Sättigung des spectralen Roth. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man zwei spectrale Farbenbänder so zum Decken bringt, dass Roth und Violett aufeinander fallen. Es ist somit die Ellipse für Purpur vollkommen gerechtfertigt. Uebrigens erhält man mit Benützung der äussersten Spectralfarben der Figur (3476 und 7060), die je unter dem vierten Theil eines rechten Winkels geneigt sind, eine sehr schlanke Ellipse für Purpur, bei der die kleine Axe nur etwa ein Sechstel der grossen beträgt (s. der Figur).

Behält man die Grundfarben symmetrisch und mit gleicher Amplitude bei, lässt aber die Neigung allmählich wachsen bis zu 45^0, so erhält

man als Mischungen die Uebergänge vom reinen Purpur zu Weiss, nämlich Dunkelrosa und Hellrosa in abnehmender Sättigung. Die Annahme ungleich geneigter Schwingungsrichtungen giebt eine Abweichung der Ellipsen von der Horizontalrichtung: Purpur mit grösserer Hinneigung zu Roth oder zu Violett. Dasselbe Resultat kann man mit symmetrischen Schwingungsrichtungen, aber ungleichen Amplituden der Grundfarben erhalten, und es können dabei schlankere Ellipsen, also gesättigtere Purpurtöne entstehen als selbst der reine Purpur aus den äussersten Strahlen des Spectrums, nämlich diejenigen Töne, mit welchen das äusserste Roth einerseits und das äusserste Violett andererseits in den reinen Purpur unter stetiger Abnahme der Sättigung übergehen. Die Schwingungsformen dieser Farbentöne erhält man, indem man einerseits das äusserste Roth unverändert mit der Amplitude a festhält und andererseits das äusserste Violett von der Amplitude Null bis zur Amplitude a stetig zunehmen lässt. Es dreht sich dann der Durchmesser, beginnend beim äussersten Roth, langsam gegen die Horizontale, indem er zuerst zur ganz plattgedrückten, dann zu einer etwas stärkeren Ellipse anschwillt und endlich auf der Horizontalen das Axenverhältniss jener Ellipse des reinen Purpur erreicht, natürlich auch unter stetiger Zunahme der Länge, da durch das wachsende Violett die Lichtstärke immer grösser wird. Dieser Uebergang der Schwingungsformen vom äussersten Roth zum reinen Purpur und von da zurück zum äussersten Violett entspricht dem Zurücklaufen der Farbencurve in möglichst gesättigten Tönen. Nicht nur für die äussersten, sondern für alle Paare von symmetrisch liegenden Spectralfarben ausserhalb Blau und Gelb ist dasselbe Verfahren möglich, und man erhält dadurch ebenfalls allmähliche Uebergänge von der einen Farbe zur andern, nur mit geringerer Sättigung der Purpurtöne als bei Benützung der äussersten Strahlen.

Nicht alle Mischungen von zwei Grundfarben, die ausserhalb zweier Complementärfarben liegen, geben Purpur- und Rosatöne. Bei stark ungleichen Amplituden können aus solchen Farbenpaaren auch Mischungen entstehen, deren grosse Axe noch auf den Halbmesser einer Spectralfarbe fällt. Blau mit ganz wenig Roth gemischt kann z. B. noch eine flache Ellipse mit Axenrichtung im Indigo oder Violett erzielen. Auch dieses Ergebniss der Hypothese entspricht den Erfahrungsthatsachen; Blau kann ja durch Beigabe einer geringen Spur von Roth nicht plötzlich in einen Purpur- oder Rosaton überspringen, sondern nur allmählich, unter Vermehren des zugegebenen Roth von Null an, durch ungesättigtes Indigo und Violett hindurch in einen solchen übergeführt werden.

Combinirt man die Ellipse des reinen Purpur mit der ebenen Wellenlinie des Grün, so vergrössern sich die Ordinaten der Ellipse, und sie geht

bei geeignetem Verhältniss der Amplituden in einen Kreis über: Purpur und Grün in geeigneter Intensität gemischt geben Weiss.

Die Hypothese ist also mit allen Thatsachen der Erfahrung, die den Purpur betreffen und die bisher eine Reihe sehr fremdartiger Erscheinungen bildeten, durchaus befriedigend im Einklang. Sie erklärt insbesondere ganz einleuchtend das Gefühl der Verwandtschaft zwischen Roth und Violett, das Entstehen des Purpur aus diesen beiden Grundfarben und das Zurücklaufen der Farbencurve mit allmählichen Uebergängen gegenüber dem Aufhören des spectralen Farbenbandes mit zwei unverbundenen Enden.

5. Beim Farbenkreisel mit den sieben Grundfarben in verschiedenen Sectoren wird der erste Sector die Schwingungsrichtung seiner Farbe in der Nervenfaser hervorrufen; in der nächsten Zeiteinheit werden die aus ihrer Gleichgewichtslage entfernten Theilchen sammt ihrem Bestreben, in dieser Richtung weiterzuschwingen, erfasst durch den Bewegungsanstoss nach der Richtung, die dem zweiten Sector entspricht; es wird sich — da jenes Bestreben allmählich abnimmt — eine krummlinige Bahn erzeugen. In dieser werden die Theilchen erfasst vom dritten Anstoss, dann vom vierten u. s. f. Bei genügender Geschwindigkeit der Aufeinanderfolge dieser Anstösse wird das Theilchen nicht mehr Zeit haben, der jeweilen auszusprechenden Richtung lebhaft genug zu folgen; denn die Zeit einer Schwingung im Nerven muss weit grösser sein als diejenige im Aether; es wird vielmehr unregelmässig rundliche Bahnen beschreiben oder in rotirenden rundlichen Ovallinien um seine Ruhelage herumspringen, und die gleichzeitigen Bahnen eines jeden Augenblicks werden endlich einen Zustand erreichen, in welchem keine Richtung mehr bevorzugt oder festgehalten, sondern alle gleichmässig vertreten und alle in Veränderung begriffen sind. Auch diesem Zustand der Nervenfaser muss die Lichtempfindung ohne Farbe oder mit allen zugleich, die Empfindung Weiss oder Grau entsprechen. Ehe sie erreicht wird, ist noch ein kurzes Betonen jeder Richtung möglich, und diese Thatsache findet ihren Ausdruck in dem Flimmern der Fläche, das dem gleichmässigen Eindruck vorangeht, so lange der Kreisel sich noch nicht schnell genug dreht.

Das weisse Licht der Sonne, als Gleichzeitigkeit oder unendlich rasche Aufeinanderfolge aller Farben in jedem Strahl, wird in ähnlicher Weise auf die Nervenfaser einwirken wie der Farbenkreisel; nur wird die äussere Bewegung hier noch weit weniger die Bevorzugung einer Schwingungsrichtung der inneren zulassen als dort. Die Bewegung im Nerven beim natürlichen weissen Licht mag dieselbe Form haben wie diejenige im Aether beim einfarbigen unpolarisirten Lichtstrahl, nur mit weit grösserer Schwingungszeit und Wellenlänge als bei diesem. Es gäbe hiernach zweierlei

Bewegungsformen im Nerven für weisses Licht, eine mit genau kreisförmigen Bahnen für das Weiss aus zwei Complementärfarben und eine andere für natürliches weisses Licht. Die Empfindung unterscheidet zwischen beiden Lichteindrücken nicht. Vielleicht sind aber auch die Bewegungsformen im Nerven in der That dieselben; die Aufstellungen der Physik über das Wesen des natürlichen weissen Lichtes schliessen die Annahme ganz oder annähernd kreisförmiger Bahnen der Theilchen im Nerven auch für dieses nicht aus. Verhält sich doch auch der kreisförmig polarisirte Lichtstrahl physikalisch wie unpolarisirtes Licht.

Man könnte fragen, warum nicht durch das Fehlen eines Octanten in den Drehungsrichtungen eine Einseitigkeit, ein stärker ausgesprochenes Schwingen gegen Grün beim Sonnenlicht eintrete. Doch beantwortet sich diese Frage dadurch, dass weit mehr der im weissen Licht vorhandenen Strahlen sich in der Nähe des fehlenden Octanten befinden als in der Richtung von Grün. Nach den in der Figur eingeschriebenen Zahlen müssen die Strahlen des Sonnenlichtes in weit grösserer Zahl den Radien an den Grenzen des fehlenden Octanten zufallen als den Richtungen von Gelb, Grün und Blau, und dadurch einen Ersatz für die fehlenden Schwingungsrichtungen schaffen, so dass in der resultirenden Bewegung doch alle Richtungen gleichwerthig auftreten können. Würde zwar jeder neue Anstoss ein Theilchen mit derselben Phasenstellung der neuen Schwingung erfassen, in welcher es eben in der alten Schwingung steht, so würden Bahnstücke mit der Richtung des fehlenden Octanten nicht zu Stande kommen; aber diese Voraussetzung wäre eben unrichtig, und die Verschiedenheit der Phasen erzeugt jene in der Figur fehlenden Richtungen hier ebensowohl wie bei den Ellipsen und Kreisen der früher besprochenen Bewegungen.

Die Farbenempfindungen, die in den nun betrachteten Bewegungsformen ihre mechanische Erscheinungsweise haben, umfassen abgesehen von den schon stärker zusammengesetzten Vorstellungen des Glanzes und Durchscheinens alle überhaupt möglichen Fälle der Lichtempfindung. Zu jeder möglichen Lichtempfindung weist die vorgetragene Hypothese eine Bewegung in der Nervenfaser auf, die sich von der Bewegung einer jeder anderen Lichtempfindung unterscheidet. Würde es sich nur darum handeln, die Gesetze der Farbenmischung durch einen graphischen Ausdruck anschaulich zu machen und aus gegebenen farbigen Lichtern die resultirende Mischfarbe durch graphische Construction ableiten zu können, so wäre wohl ein Weg zur Lösung dieser Aufgabe nun gefunden, auch wenn die Hypothese sich nicht anderweitig begründen liesse. Aber es dürfte in der Folge

deutlich werden, dass die Uebereinstimmung ihrer Folgerungen mit den Thatsachen der Erfahrung etwas mehr sein muss, als nur ein günstiger Zufall. Abgesehen davon, dass schon die Uebereinstimmung der aus den Annahmen erhaltenen Bewegungsvorgänge im Nerven mit denen im Aether, wie die Wissenschaft sie in der Lehre vom Licht zur Erklärung vieler Erscheinungen gebraucht, zu ihren Gunsten sprechen muss, bietet die Physik auch schon selber einen Vorgang für die Verschiedenheit der Schwingungsrichtung der verschiedenen Farben; es ist die wunderbare Erscheinung ihrer verschieden starken Rotationspolarisation oder Rotationsdispersion, die Erscheinung, dass im Quarzkrystall und in verschiedenenen anderen Krystallen die Schwingungsebene des parallel zur Hauptaxe einfallenden, geradlinig polarisirten Lichtstrahls im Fortschreiten gedreht wird, und dass die Grösse dieser Drehung für die verschiedenen Spectralfarben verschieden gross ist.

Die Natur muss den äusseren Bewegungsvorgang im Aether in einen solchen in der Nervenfaser der Netzhaut umsetzen, um die Lichtempfindung zu erwecken; sie muss dabei den äusseren Bewegungsvorgang analysiren; d. h. es muss derjenigen Verschiedenheit zweier Aetherbewegungen, auf welcher die Verschiedenheit der Farbe des Lichtstrahls beruht, immer auch eine Verschiedenheit der im Nerven hervorgerufenen Bewegungsvorgänge entsprechen. Um eine solche zu erzielen, muss die Natur von einer der physikalischen Erscheinungen Gebrauch machen, welche beim Uebergang des Lichtes von einem Mittel in's andere auftreten, und bei welcher die Lichtstrahlen verschiedener Farbe verschiedene Resultate im neuen Mittel hervorrufen. Das erste Mittel ist dabei die Luft oder die Glasflüssigkeit im Auge, das zweite ist das Nervenendgebilde. Freilich sind uns nicht alle diese physikalischen Erscheinungen bekannt; bei der endlichen Umsetzung des Lichtstrahls in Nervenbewegung müssen Wirkungsweisen des Lichtes zur Geltung gelangen, die noch unerforscht sind. Aber hält man sich an diejenigen bisher bekannten Wirkungen des Lichtes in einem neuen Mittel, welche bei verschiedenfarbigen Lichtern verschieden ausfallen (verschiedene Zerstreuung, verschiedene Erwärmung, verschiedene Fluorescenz, verschiedene chemische Wirkung, verschiedene Rotationsdispersion), so sagt das Gefühl und die Ueberlegung: „Es kann kaum ein anderes Hülfsmittel geben, mit welchem die Natur das Licht bei dessen Umsetzung in Nervenbewegung analysirt, als eben die Rotationsdispersion, denn ihre Veränderung des Lichtstrahls, ihre Verwerthungsweise seiner lebendigen Kraft in einer neuen Bewegung ist die einzige, welche nur in der Axe des Lichtstrahls fortwirkt und zugleich einer schnellen Aenderung der äusseren Bewegungsform rasch genug folgen kann. Und nur ein Fortwirken in der Axe des Lichtstrahls mit äusserster Fähigkeit der raschen Anpassung an

den äusseren Bewegungsvorgang kann die Natur brauchen, wo es sich darum handelt, viele Tausende unendlich kleiner, von verschiedenen rasch veränderlichen Lichtstrahlenbüscheln getroffener Netzhautelemente in ihren Wirkungen auf das Centralorgan getrennt zu halten!“

Auch die Verschiedenheit der chemischen Wirkung verschiedenfarbiger Lichter würde als das Werkzeug der Natur bei Zergliederung der Aetherbewegung durch das Sehorgan zunächst wohl einleuchten; sie wurde bisher vielfach als solches betrachtet und ist auch wohl ein Hülfsmittel beim Sehen, nicht nur bei minder hoch organisirten Geschöpfen ausschliesslich, sondern möglicherweise sogar beim Menschen zum Theil, nämlich in Beziehung auf die minder klare Empfindungsweise in den seitlichen Partien der Netzhaut. Aber zur Unterscheidung der Farben dürfte sie nicht ausreichen, und zwar aus folgendem Grunde. Es giebt immer mehrere Lichter verschiedenen Farbentons und zugleich verschiedener Stärke, welche dieselbe chemische Wirkung in einem bestimmten Stoff hervorrufen. Es giebt z. B. ein Gelb grösserer Lichtstärke, welches mit einem Grün geringerer Lichtstärke und einem Violett von abermals geringerer Lichtstärke dieselbe chemische Wirkung im gleichen Stoff ausübt. Wie sollte die Unterscheidung solcher Lichter aus ihren chemischen Wirkungen möglich sein, da doch diese chemischen Wirkungen selber sich nicht unterscheiden? Zudem giebt es noch Strahlen jenseits Violett, die eine chemische Wirkung hervorbringen und doch dem Auge nicht sichtbar sind!

Gegen die chemische Hypothese spricht ferner ganz entschieden, dass gerade an der Stelle des deutlichsten Sehens von Farben und Formen, in der Netzhautgrube, jede lichtempfindliche Substanz fehlt.

Somit drängt schon die Unwahrscheinlichkeit der Anwendung aller anderen denkbaren Hülfsmittel zu der Annahme, dass die Natur den homogenen Lichtstrahl, der das Netzhautelement trifft, zuerst polarisirt, dann die Schwingungsebene je nach der Farbe mehr oder weniger dreht und endlich mit der erreichten Schwingungsrichtung auf die Stirnfläche der Nervenfaser einwirkt.

Die anatomischen Verhältnisse der Netzhaut erscheinen bei dieser Annahme plötzlich in einem neuen Licht. Die feinen Verzweigungen des Sehnerven, die sich auf der inneren, den Glaskörper begrenzenden Fläche der Netzhaut ausbreiten, biegen sich nach aussen um und treten im Inneren der Netzhaut zunächst in Ganglienzellen ein; aus diesen treten nach aussen neue Fasern hervor, die nach Durchbrechung der inneren und äusseren Körnerschicht in den palissadenartig mit geringen Zwischenräumen nebeneinanderstehenden Stäbchen und Zapfen endigen. Nach aussen ist die Netzhaut abgeschlossen durch eine Pigmentschicht, deren membranlose

Zellen einen in fester krystallinischer Form abgeschiedenen braunen Farbstoff, Fuscin genannt, enthalten. Nach diesem Farbstoff kommt nach aussen die Aderhaut, dann die äussere weisse Haut, die äusserste Schale des Augapfels, an welcher die Muskeln sich ansetzen. Die ganze Netzhaut ist nur 0·22 mm dick und durchsichtig, so dass man im todten Auge das Netzhautbild sichtbar machen kann, wenn man aus der äusseren Haut und Aderhaut ein Stück herausschneidet und sorgfältig von der Netzhaut ablöst. Die Nerventheile selber sind nicht lichtempfindlich; erst die weiter aussen liegenden und nach aussen gegen die Pigmentschicht gerichteten Stäbchen und Zapfen, in welche die Nerven von innen nach aussen eintreten, sind reizbar durch das Licht.

Die Stäbchen sind Cylinder 0·063 bis 0·081 mm lang und 0·0018 mm dick; sie bestehen aus einem Innengliede, in das die Nervenfaser eintritt, und einem durch eine scharfe Querlinie von jenem getrennten, glasartigen Aussenglied, das in der lebenden Netzhaut eine purpurrothe Färbung zeigt, herrührend von einem in ihm aufgelösten Farbstoff, dem Sehpurpur. Auch die Zapfen sind aus einem Innen- und Aussenglied zusammengesetzt, die wieder durch eine scharfe Querlinie getrennt sind; in jenes treten die Nervenfasern ein. Das Innenglied ist weit breiter als bei den Stäbchen und ebenfalls von kreisrundem Querschnitt, aber gegen aussen etwas verjüngt; das Aussenglied hat die Form eines schlanken schmalen Kegels und ist glashell, mit starkem Lichtbrechungsvermögen.

Die Unempfindlichkeit der Nerventheile für Lichtreize und die Durchsichtigkeit der Netzhaut lässt erkennen, dass der Lichtstrahl durch die ganze Netzhaut hindurch bis zur Pigmentschicht geht und erst von dort zurückgeworfen, rückwärts auf die Stäbchen und Zapfen wirkend, dieselben erregt. Es greift der Nerv gleichsam vom Inneren aus mit seinen Verzweigungen das Bild an der Hohlkugelfläche der Pigmentschicht ab, eine eigenartig complicirte Einrichtung, die nur dem Menschen und den Wirbelthieren eigen ist, während bei den Wirbellosen die Krystallstäbchen der Netzhaut nach innen, also dem von der Linse herkommenden Lichtstrahl unmittelbar entgegengerichtet sind. Offenbar ist jene complicirte Umkehrung der zu erwartenden Aufeinanderfolge der Theile eine Einrichtung von grösserer Vollkommenheit, ohne dass jedoch deutlich wäre, worin ihre Vorzüge bestehen.

Ausser der hier gemachten Annahme ist noch die andere möglich, dass der Lichtstrahl schon im Hinweg die zuerst von ihm getroffenen Innenglieder erregt, und dass die Aussenglieder spiegelartig nur diese Erregung zu verstärken haben. Diese andere Annahme, wonach die Nervenerregung nicht vom Nervenende ausginge, erscheint jedoch schon zusammengehalten mit dem Wege des Lichtstrahls im Auge der Wirbellosen

weniger wahrscheinlich. So wenig ferner die übrigen Nervenfasern der Netzhaut durch Licht reizbar sind, so wenig dürften es auch die Innenglieder für jeden solchen Lichtstrahl sein, der sie nicht an ihrem Stirnende trifft.

Der Vorgang bei Entstehung der Farbenempfindung dürfte etwa der folgende sein: Der in's Auge dringende natürliche Lichtstrahl wird zuerst polarisirt, d. h. zerlegt in zwei zu einander senkrecht stehende Schwingungen, von denen nach dem Beispiel des Turmalinkrystalls die eine vom polarisirenden Mittel absorbirt wird. Angekommen an einem bestimmten, von scharfen Stirnflächen begrenzten neuen Mittel erleidet dann der Lichtstrahl eine Drehung verschiedener Grösse für die verschiedenen Farben, und deren Schwingungen kommen daher mit verschiedenen Richtungen an der entgegengesetzten Grenzfläche des drehenden Mittels an. Jenseits dieser Fläche, im nächsten Mittel wären nun (abgesehen zunächst von der Phasenverschiedenheit) alle Bedingungen vorhanden, die den früher aufgestellten Schwingungsformen im Nerven entsprechen; zugleich aber würde an dieser Fläche der Lichtstrahl aufhören, Lichtstrahl zu sein. Das drehende Mittel bilden nun mit grosser Wahrscheinlichkeit die glashellen Aussenglieder der Zapfen; die Innenglieder sind die Nervenausläufer mit den früher beschriebenen Schwingungen; die scharfe Querlinie zwischen beiden Gliedern ist die Scheidewand zwischen Lichtstrahl und Nervenerregung.

In welchem Mittel geht aber die Polarisation vor sich? Ist es die glashelle gelbe Substanz im gelben Fleck? Dagegen spricht, dass ja für die Zapfen auf den seitlichen Partien der Netzhaut diese Substanz nicht vorhanden wäre. — Oder wird der Lichtstrahl beim Zurückwerfen von der Pigmentschicht polarisirt? — Oder führen die Zapfenaussenglieder die ganze Zerlegung des natürlichen Lichtstrahls einschliesslich der Spaltung in zwei zu einander senkrechte Schwingungen durch? — Diese Fragen wären nur durch weitere anatomische und physikalische Untersuchung der Netzhautbestandtheile zu lösen; soviel aber dürfte schon jetzt zu behaupten sein, dass nach der vorgetragenen Theorie der Farbenempfindung den Innen- und Aussengliedern der Zapfen und Stäbchen eine einleuchtende Aufgabe zugewiesen wird.

Was die Verschiedenheit der Phasen betrifft, welche für die gleichzeitigen Schwingungen verschiedener Richtungen im Nervenendgebilde (also nun im Zapfeninnenglied) angenommen wurde, so ist sie den beschriebenen Vorgängen ebenfalls angemessen; sie rührt von den verschiedenen Geschwindigkeiten her, mit welchen sich nach den Resultaten der Physik bei der Rotationsdispersion die verschiedenfarbigen Strahlen im drehenden Mittel fortpflanzen. Die rothen Strahlen mit ihrer grössten Wellenlänge haben im letzteren grössere Geschwindigkeit als die grünen und diese grössere als die blauen und violetten; wenn nun z. B. rothes und comple-

mentäres blaugrünes Licht zu gleicher Zeit eine Netzhautstelle reizen und zuvor eine Welle *a* des rothen Strahls mit einer Welle *b* des blaugrünen gleichzeitig auf ein äusseres Aethertheilchen eingewirkt hat, so kommt die Welle *b* ein wenig später an der Scheidewand von Innen- und Aussenglied des Zapfens an als die Welle *a*; die im Innenglied durch *b* hervorgerufene Schwingung kann also ganz wohl um eine Viertelswelle hinter der von *a* erzeugten zurückbleiben.

Es erhebt sich noch die Frage: „Was hat die eigenthümliche Gliederung der Netzhaut in zwei verschiedenen Arten von Organen, in die Zapfen und und Stäbchen, für einen Zweck?“ Der verschiedene Bau dieser Organe weist auf eine starke Verschiedenheit der physiologischen Processe in denselben, und doch macht es scheinbar für unsere Empfindung keinen Unterschied, ob ein Punkt der betrachteten Aussenwelt sein Bild auf einen Zapfen oder ein Stäbchen wirft. Die Frage nach einem Unterschied der Empfindungen, der jenem Unterschied der physiologischen Processe entspricht, besteht offenbar ganz unabhängig von der vorgetragenen Theorie und kehrt auch bei jeder anderen wieder.

Es ist wahrscheinlich, dass allein die Zapfen die deutliche Empfindung der Farben und das deutliche Erkennen der Raumformen vermitteln, während die Stäbchen als minder vollkommene Organe nur mit einer unklaren und nicht für sich erkennbaren Lichtempfindung ausgestattet sind. Die Thatsache, dass derjenige Theil der Netzhaut, mit dem wir allein scharf sehen, der gelbe Fleck mit der Centralgrube, ausschliesslich Zapfen enthält, wogegen im Fortschreiten von diesem gegen die seitlichen Partien der Netzhaut die Stäbchen immer häufiger, die Zapfen immer seltener werden und zuletzt diese nur vereinzelt unter der weit überwiegenden Zahl von Stäbchen stehen, ist der erste Grund für diese Annahme. „Der nach innen gegen die Opticusschicht gerichtete Fortsatz der Stäbchenkörner ist breit; er besteht aus einer grösseren Zahl von Fasern; der Fortsatz der Stäbchenkörner ist sehr schmal und besteht vielleicht nur aus einer einzigen Primitivfibrille.“ Hiernach scheinen die Zapfen weit mehr an das Centralorgan zu berichten als die Stäbchen; wo diese vielleicht nur über die Stärke einer Bewegung in ihnen Kunde geben, da sind aus den Zapfen vielerlei verschiedene Bewegungsformen zu übertragen.

Ein geometrisches Muster, etwa ein durchbrochener Fenstervorhang, wird schon unter geringem Winkel zur Augenaxe betrachtet nur noch schwer, und bei etwas grösserem Winkel gar nicht mehr erkannt. Mit aller Bemühung gelingt es endlich nicht mehr, Linien zu erfassen und in der Vorstellung in einen Zusammenhang zu bringen. Eine flackernde

Flamme erweckt zwar, in derselben Weise schief angesehen, die Vorstellung des Flackerns immer noch; aber Umrisse und Farben werden nicht mehr an ihr erkannt. Die verschwommenen Umrisse der seitlichen Netzhautbilder können nicht die Ursache dieses mangelhaften Erkennens sein; denn es lassen sich bei geeignetem Einstellen des Auges gewiss auch scharfbegrenzte Bilder auf nicht allzu seitlichen Netzhautpartien erhalten, und doch erkennen wir dann diese Bilder nicht deutlicher. Das directe Sehen mit einem Auge auf einen nahen Punkt, wobei das Bild des Fernen ebenfalls keine scharfen Umrisse hat, kann lehren, dass hier das Erkennen der fernen Formen noch wohl möglich ist, dass also auch beim seitlichen Netzhautbild der verschwommene Umriss das Erwerben der Vorstellung nicht hindern würde. Es liegt in dessen schwieriger Erkennbarkeit eine ähnliche unbemerkte Durchlöcherung des Gesichtsfeldes vor, wie beim blinden Fleck, und von den Stäbchen rührt sie her. Diese sind unfähig, mit ihrer Empfindungsweise zur Vorstellung zusammenhängender Linien und Figuren zu verhelfen; nur an den Empfindungen aus den Zapfen vollziehen wir unbewusst die Abstraction, die zur Vorstellung der Raumformen führt, und wo die Zapfen nur noch in grossen Entfernungen in der Netzhaut zerstreut stehen, da ist das Räthsel vieldeutig (weil die Stäbchen keinen Ersatz bieten), da bringen wir die verschiedenen Reizungen der entlegenen Zapfenpunkte nicht mehr zu einem Ganzen zusammen, wie wir eine complicirte Curve oder Figur nicht mehr ergänzen können, wenn zu wenig Punkte davon gegeben sind.

Wie empfinden nun aber die Stäbchen? Diese Frage kann nur mit einem Hinweis auf die unklare Wahrnehmung der seitlichen Gesichtsfeldpartien beantwortet werden. Die Stäbchenempfindung wird nicht für sich erkannt, weil die Aufmerksamkeit bei aller Bemühung, die leeren Stellen zu erkennen, immer nur die seitlichen Netzhautbilder zu ergänzen sucht, indem sie sich auf die Empfindungen der Zapfen richtet. Es ist wohl eine Lichtempfindung in den Stäbchen, aber eine unklare, die sich uns etwa nur dann für sich bemerkbar macht, wenn die Lichtstärke auf den seitlichen Netzhautpartien plötzlich wechselt, eine Lichtempfindung, wie sie vielleicht niedrig organisirte Geschöpfe als einzige besitzen.

Der Sinn dieser Einrichtung ist wohl nicht schwer zu deuten. Mit Absicht ist nicht die ganze Netzhaut, sondern nur die kleine Stelle des gelben Flecks zum scharfen Sehen eingerichtet; die seitlichen Netzhautpartien sollen sich nicht mit scharfen Bildern dem Bewusstsein aufdrängen, sondern sich unterordnen, um es nicht unnöthigerweise abzulenken und zu verbrauchen; sie sollen nur bei starkem Licht oder heftigen Bewegungen, die seitlich im Gesichtsfeld auftauchen, als empfindliche Wächter ein Anrufungszeichen ins Bewusstsein werfen. Und diese Aufgabe erfüllen nun

eben die Stäbchen dadurch, dass sie mit ihrer minder vollkommenen Empfindungsweise zwischen die Zapfen gesetzt sind. Wenn überhaupt der Grundsatz in der Lichtempfindung Geltung behalten soll, dass den Unterschieden der physiologischen Processe Unterschiede der Empfindung entsprechen, so ist dies kaum anders möglich als mit einer untergeordneten Empfindung in den Stäbchen, die eine unbemerkte Durchlöcherung der seitlichen Sehfeldpartien erreicht. Denn eine andere Veränderlichkeit der Theile des Sehfeldes als diejenige vom deutlichen zum undeutlichen Erkennen finden wir bei Bewegung des Auges nicht heraus. Welcher Art der physiologische Vorgang in den Stäbchen sei, ob gleichartig mit demjenigen in den Zapfen, ob in einer chemischen Reizung bestehend, kann hier unerörtert bleiben.

Eine neue Theorie der Farbenempfindung muss nach Erklärung der Mischfarben immer auch noch neben eine Reihe von anderen Thatsachen der Erfahrung gestellt werden, nämlich neben die Contrast- und Ermüdungserscheinungen, das eigenthümliche Verhalten der scheinbaren Lichtstärke zur Farbenstärke, die Nachbilder und die Farbenblindheit.

Was die Contrasterscheinungen betrifft, so gehören sie in das Capitel der Farbenharmonie und machen als verändertes Urtheil über gleichgebliebene Sinneseindrücke keinen Anspruch auf eine physiologische Erklärung. (Versuch von Fechner: Schlagschatten bei gelbem Licht bläulich, bei blauem Licht scheinbar gelblich, bei Betrachtung durch ein Rohr, das den Blick auf die wechselnde Umgebung ausschliesst, kein Wechsel in der Farbe des Schlagschattens bei einem Wechsel der Farbe der Lichtquelle.)

Die Ermüdungserscheinungen bestehen darin, dass der Eindruck einer bestimmten Farbe bei langer Betrachtung abnimmt, so dass diese Farbe immer weniger gesättigt erscheint, wogegen dann — was aber schon Contrasterscheinung ist — die Empfindlichkeit für die complementäre Farbe zunimmt und diese für lebhafter gehalten wird als bei unermüdeter Netzhaut. Roth z. B. scheint bei langer Betrachtung immer dunkler und farbloser zu werden. Ein schwarzes Kartenblatt auf farbigem Grund rasch weggenommen, hinterlässt seine Fläche heller und gesättigter, weil an der Stelle seines Netzhautbildes keine Ermüdung für die Farbe eintrat. Erscheint die der Ermüdung verfallene Farbe als Bestandtheil einer Mischung, so sieht diese aus, als ob die Farbe minder stark darin vertreten wäre; Weiss z. B. erscheint bläulich nach langem Ansehen von Gelb.

Die Ermüdungserscheinungen sind zwar in anderen Gebieten auch vorhanden, indem z. B. das Wohlgefallen an einer zu oft erschienenen sichtbaren oder klingenden Figur oder an einem zu oft gelesenen schönen Ge-

danken ebenfalls abnimmt; aber in diesen Fällen wird der Sinneseindruck oder Gedanke nicht verändert aufgefasst; die Figuren oder der Gedanke sind dieselben Vorstellungen wie zuvor, während man, wie das Experiment mit dem Kartenblatt beweist, bei der Farbe nach Ermüdung an ihr eine andere Farbe zu sehen glaubt als früher. Daher kann bei der Farbe die Ermüdung nicht nur als ein verändertes Urtheil über eine gleichgebliebene Vorstellung erklärt werden, sondern es müssen schon im Sinneseindruck die Thatsachen der Veränderung enthalten sein.

Was die Lichtstärkeerscheinungen betrifft, so bestehen sie zunächst in einer grossen Unsicherheit der Bewerthung der Lichtstärke farbiger Flächen. Es kann z. B. im Aeusseren ein rother Lichtstrahl ganz wohl dieselbe lebendige Kraft der Schwingung darbieten wie ein weisser oder blauer, und die Strahlen sind dann von gleicher objectiver Lichtstärke; aber wir sind nicht fähig, diese Gleichheit zu erkennen, und halten bald den einen, bald den anderen Lichtstrahl für heller.

Eine andere Lichtstärkeerscheinung besteht darin, dass die Spectralfarben den höchsten Grad ihrer Sättigung bei sehr stark verschiedenen Lichtstärken erhalten (diese wurden hier ohne weitgehende Sicherheit künstlich gemessen). Violett ist schon bei geringster Lichtstärke gesättigt, bei etwas grösserer Blau und Roth; dann kommen Orange, Blaugrün und Grün; die grösste Lichtstärke zur Sättigung erfordert aber Gelb. (Nach Fraunhofer ist die Lichtintensität der gesättigten Farben bei Roth 32, Orange 94, Röthlichgelb 640, Gelb 1000, Grün 480, Blaugrün 170, Blau 31, Violett 5·6.)

Bei zwei Complementärfarben muss die Farbenstärke dieselbe sein, denn die zwei Farben müssen ja einander aufheben; die Lichtstärke ist aber nicht dieselbe, sondern bei Violett nur $^1/_{10}$ bis $^1/_5$ von derjenigen des complementären Grüngelb, und bei Blau nur $^1/_3$ bis $^1/_4$ von derjenigen des complementären Gelb. Die Verhältnisszahlen schwanken zwischen den angegebenen Grenzen mit der Lichtstärke; nach H. Helmholtz erscheint bei grosser Lichtstärke das Violett nur $^1/_{10}$ so hell als sein complementäres Grüngelb, bei geringer Lichtstärke dagegen $^1/_5$, ebenso Blau dort $^1/_4$, hier $^1/_3$ von Gelb.

Bei steigender Lichtstärke gehen die Farben mehr und mehr in Weiss über, am frühesten Violett und Blau; Roth und Grün werden bei diesem Uebergang zuerst gelblich. Bei abnehmender Lichtstärke sollen dagegen nach H. Helmholtz Violett und Blau, nach W. Wundt Gelb und Grün am längsten aushalten; bei einer Beleuchtung, die ein gesättigtes Roth schon aussehen lasse wie Schwarz, erkenne man jene Farben noch immer als Farben. Diese Beobachtungen sind übrigens schwer in Einklang zu bringen mit derjenigen, dass Blau und Roth ihre Sättigung bei gleicher

Lichtstärke erreichen (s. oben). Auch lässt sich dem Roth fast ohne Verminderung seiner Sättigung eine solche Lichtstärke geben, dass es im Dunkeln als Farbeneindruck länger dauert als ein gesättigtes Blau oder Grün. Die Farbenfläche, die bei Tagesbeleuchtung lichtreicher ist, wird auch im Dunkeln länger Farbe halten, sei sie nun roth oder gelb oder blau. Bei der Unsicherheit der Bewerthung der Lichtstärke der Farben wird sich kaum eine Thatsache über das längere Ausdauern mit solcher Bestimmtheit feststellen lassen, dass hier ein Erklärungsversuch einen Werth haben könnte.

Folgende Annahmen dürften im Zusammenhang mit den früheren geeignet sein, die Ermüdungs- und Lichtstärkeerscheinungen in ihren wesentlichen Zügen zu erklären:

„1. Der elastische Widerstand gegen eine Schwingung ist in verschiedenen Richtungen der Zapfeninnenglieder verschieden gross; er ist am grössten in der Richtung von Gelb, um von da aus gegen Violett langsam, gegen Roth rasch abzunehmen. Dies hat zur Folge, dass eine weit stärkere äussere Schwingung dazu nöthig ist, eine bestimmte Amplitude der inneren Schwingung für Gelb zu erhalten, als dieselbe Amplitude für Blau oder Roth erfordern würde.

2. Der elastische Widerstand ist in jeder Richtung der Nervenendfaser ein wenig veränderlich; er wird in jeder Richtung erhöht durch eine langandauernde oder starke Schwingung in dieser Richtung, so dass einer gleichbleibend andauernden äusseren Schwingung eine allmählich abnehmende Amplitude der inneren Schwingung antwortet. (Vielleicht bringt die Erhöhung des Widerstandes in einer Richtung eine Verminderung desjenigen in der dazu senkrechten Richtung mit sich.)

3. Die Farbenstärke eines Eindrucks wird gemessen durch das Quadrat der Amplitude der inneren Schwingung, und bei den Mischfarben durch das Quadrat der Differenz beider Halbaxen der Schwingungsellipse.

4. Die Lichtstärke wird gemessen durch den überwundenen elastischen Widerstand der inneren Schwingung.

5. Die Sättigung ist das Verhältniss der Farbenstärke zur Lichtstärke.

6. Bei übermässig starken Lichteindrücken wird die Schwingung in der Nervenfaser so heftig, dass sie das organische Gefüge der Nerventheile zerstört, wie ein zu grosser Druck die Cohäsion im unorganisch festen Körper zerstört. Schon bei Annäherung an diesen Zustand entsteht eine anormale Lage der Theile im organischen Gefüge, die nach Aufhören des starken Lichteindrucks nur langsam wieder in die normale übergeht, wie im festen Körper der alte Zusammenhang der Theile nach starkem Druck

nur allmählich sich wieder herstellt, vorausgesetzt, dass die Elasticitätsgrenze nicht überschritten war. Gerade Schwingungen jeder Richtung kommen über ein bestimmtes Maximum der Amplitude nicht hinaus; erhebt sich die Kraft der äusseren Schwingung noch höher, so äussert sich die Annäherung an die Elasticitätsgrenze in einem Schwanken der Schwingungsrichtung um eine Mittellage, das um so grössere Entfernungen von dieser erreicht, je stärker der farbige Lichteindruck. Entsprechend dem grösseren elastischen Widerstand in der Richtung Gelb wird das Maximum der Amplitude und Farbenstärke für Gelb erst bei grösserer Lichtstärke erreicht als für Grün und Roth, und mehr noch als für Blau und Violett."

Der verschieden grosse elastische Widerstand in verschiedenen Richtungen des Krystalls oder der Flüssigkeit ist die Ursache der Rotationsdispersion im Quarz oder den anderen Körpern mit solcher; auch in den Zapfenaussengliedern muss er als Ursache derselben Erscheinung vorhanden sein; es kann nicht überraschen, dass in der Nervenendfaser ein solcher Zustand ebenfalls bestehen soll. Die Molecular- oder Cohaesionsveränderung als Verstärkung des Widerstandes gegen eine oft wiederholte Bewegung entspricht den Beobachtungen der Physik über die Vermehrung der Widerstandsfähigkeit fester Körper durch solche Dehnungen oder Pressungen, welche die Elasticitätsgrenze wenig überschreiten, oder auch diese Grenze nicht erreichen, aber lange andauern. Diese Vermehrung des elastischen Widerstandes hat vielleicht eine allgemeine Gültigkeit im Nervensystem, indem sie nicht nur den Ermüdungserscheinungen in anderen Gebieten, sondern überhaupt allen Gedächtnisserscheinungen zur körperlichen Grundlage dient. Die Richtigkeit der im Früheren in Anwendung gebrachten Zusammensetzung der geradlinigen Bahnen zu elliptischen und kreisförmigen wird nicht etwa durch die Annahme des ungleichen elastischen Widerstandes verschiedener Richtungen in Frage gestellt; denn sie richtet sich nur nach Maassen, nicht nach der Kraft der beiden gegebenen Schwingungen.

Durch das langsame Vergehen des anormalen Zustandes im Gefüge der Nerventheile und in ihren Cohaesionskräften in Folge eines heftigen, oder auch eines minder starken, aber langandauernden Lichteindrucks erklären sich die Nachbilder. Das positive Nachbild ist das kurzwährende Ausschwingen, das noch die Fortsetzung und das Erlahmen der vom Lichteindruck unmittelbar erzeugten Bewegung darstellt; das negative Nachbild ist die Reaction der inneren Kräfte, diejenige Bewegung in der Nervenfaser, durch welche sich die alte Lage der Theilchen und die alten Cohaesionskräfte langsam wiederherstellen (elastische Nachwirkung). Bei beiden Bewegungen müssen sich die ungleich grossen elastischen Widerstände verschiedener Richtungen im Nervenquerschnitt durch ungleich rasches Er-

lahmen, beziehungsweise ungleich starkes Reagiren bestimmter Schwingungsrichtungen äussern, und das sogenannte farbige Abklingen besonders kräftiger Nachbilder wäre die Empfindung aus dem Spiel dieser Bewegungen, die übrigens nicht bei allen Augen in gleicher Reihenfolge der Farben vor sich zu gehen scheinen. Es ist wahr, dass auch in Beziehung auf die Nachbilder die Annahme der Fortdauer einer chemischen Reizung dem Erklärungsbedürfniss näher liegen würde, aber das Fehlen jeder lichtempfindlichen Substanz an der Stelle des deutlichsten Sehens, auf welcher die Nachbilder eher noch deutlicher auftreten, als auf mehr seitlich gelegenen Netzhautpartien, gestattet auch hier die Erklärung aus einer chemischen Reizung nicht. Dass die scheinbar schon vergangenen (negativen) Nachbilder durch kräftiges Schliessen des Auges wieder hervorgerufen werden können, spricht ebenfalls für eine fortdauernde Bewegung in Folge veränderter innerer Kräftewirkung. Endlich weisen die subjectiven Lichteindrücke bei Stoss oder sanftem seitlichem Druck gegen das Auge auf ein Entstehen aller subjectiven Lichtempfindungen, also auch der Nachbilder. durch eine in Folge von Erschütterung oder anormaler Spannung rein mechanisch erzeugte Bewegung im Nerven, und in der That haben alle diese Empfindungen etwas Verwandtes in Beziehung auf die Eigenschaften der Lichterscheinung.

Die Thatsachen der Farbenblindheit sind wohl noch zu unvollständig erforscht, als dass ein eingehender Deutungsversuch von Werth sein könnte. Sie besteht in den meisten Fällen darin, dass Roth und Grün nicht empfunden, sondern unter sich und mit Grau verwechselt, und dass alle Mischfarben, in welchen Roth und Grün auftreten, entsprechend verändert aufgefasst werden. Es scheinen hier nur die beiden Hauptrichtungen der Schwingung, diejenigen für Gelb und Blau, als Sectoren geringer Ausdehnung vorhanden oder wenigstens der Quadrant von Roth bis Grün zu einem solchen engen Sector verkümmert. Bei anderen Farbenblinden scheinen dagegen die Schwingungsrichtungen von Gelb bis Blau zu fehlen und die nach aussen, gegen Grenze Roth und Grenze Violett liegenden erhalten zu sein. Anormales Gefüge der Zapfenaussen- oder -innenglieder wäre hiernach die Ursache der Farbenblindheit. Uebrigens kann diese ebensowohl von einem Mangel des Centralorgans oder der Leitung dorthin herrühren, ohne dass in den Zapfen etwas anderes vor sich ginge als im normalen Auge; sei es in einem Theil der Fälle oder in allen.

Dass für die beiden Farben Gelb und Blau die Empfindung dauerhafter und — wie sich zeigen wird — in Beziehung auf den Unterschied der Schattirungen am feinsten ausgebildet ist, lässt eine gewisse Ursprünglichkeit derselben vermuthen. Die heute erreichte Zerlegung des Lichtes in so viele Richtungen hat vielleicht mit diesen beiden Hauptrichtungen

begonnen und sich durch stetige Veränderung der Structur der Zapfen allmählich zu grösseren Sectoren bis zu deren Vereinigung bei Grün ausgebreitet.

Was die Festlegung der Richtungen betrifft, die in der Figur den verschiedenen Farben je nach ihrer Schwingungszahl zugetheilt erscheinen, so ist sie auf folgendem Weg erhalten:

H. Helmholtz (Handbuch der physiologischen Optik, 1867, S. 277 u. 278) hat die Wellenlängen derjenigen Spectralfarben zusammengestellt, die nach seinen Messungen zusammen Weiss ergeben, und aus den Resultaten dieser Messungen eine hyperbelartige Curve abgeleitet, deren Punkte als Abscissen die Wellenlängen der Farben und als Ordinaten je die Wellenlänge der zugehörigen Complementärfarben zeigen. Diese Curve zeigt zwei congruente Zweige, welche deutlich zwei Symmetralaxen mit 45^0 Neigung haben und dadurch die Möglichkeit bieten, sie durch symmetrische Wiederholung der von H. Helmholtz bestimmten Punkte zu ergänzen. (Die Symmetralaxe wurde so lange parallel mit sich verschoben, bis die genannte symmetrische Wiederholung der ursprünglichen Punkte mit diesen selber in eine möglichst stetige Curve zusammenfiel; die gemessenen und durch die Verlegung erhaltenen Punkte liessen die Lage der Symmetralaxe und der Scheitel der Curvenzweige mit grosser Sicherheit bestimmen.) Die erhaltene Figur bietet in den Schnittpunkten der Curve mit der einen Axe und im Schnittpunkt beider Axen, der zugleich Mittelpunkt des Ganzen ist, drei ausgezeichnete Punkte, deren Coordinaten auffallend nahe mit den Wellenlängen des mittleren Gelb, Blau und Grün übereinstimmen, nämlich:

	Zehnmilliontelmillimeter	Zehnmilliontelmillimeter
erster Scheitel	$x = 4794$	$y = 5742$
zweiter Scheitel	$x = 5742$	$y = 4794$
Mittelpunkt	$x = 5268$	$y = 5268$

Die zwei Wellenlängen der Scheitel sind nun als den zwei Schwingungsrichtungen unter 45^0 angehörig in unsere Figur eingeführt, die Wellenlänge des Mittelpunktes als der lothrechten Richtung für Grün. Die zwischen Blau und Gelb gelegenen Wellenlängen für die Strahlen des in 16 gleiche Theile getheilten Quadranten wurden so bestimmt, dass ihre Zunahmen von Blau aus sich verhalten wie die Zunahmen der Sinusquadrate der mit der Hauptrichtung Blau gebildeten Winkel, und zwar aus folgendem Grunde:

Bildet ein beliebiger Radius r einen Winkel x mit der Hauptrichtung Blau, so ist seine Projection auf diese gleich $r \cos x$, und auf die Hauptrichtung Gelb gleich $r \sin x$. Ist nun r zugleich Amplitude einer Schwin-

gung nach der Richtung x, so sind $r \cos x$ und $r \sin x$ die Amplituden der Componenten, d. h. der zwei Projectionen der Schwingung x auf die beiden Hauptrichtungsebenen, und wenn die Schwingungen der Componenten ohne Phasenverschiedenheit vor sich gehen, so erzeugen sie die Schwingung x. Wirklich besteht auch dem Gefühl nach eine Verwandtschaft aller grünlichen Farbtöne mit Blau und Gelb, wie durch Mischung von blauen und gelben Pigmenten Grün entsteht. Die Stärken der Empfindungen Blau und Gelb, die in der Farbe des beliebig angenommenen Halbmessers zusammenwirken würden, wenn die Schwingungen ohne Phasenverschiedenheit vor sich gingen, wären nach dem Früheren gemessen durch $r^2 \cos^2 x$ und $r^2 \sin^2 x$, und es liegt nun nahe, die Zunahme der Empfindung Gelb in der Farbe eines gegen Gelb sich bewegenden Halbmessers beim Zunehmen des Winkels x proportional zu setzen einerseits der Zunahme von $\sin^2 x$, andererseits der Zunahme der Wellenlänge. Die für Grün angesetzte Wellenlänge und Richtung ist hiermit im Einklang.

Nachdem so die Wellenlängen zwischen Gelb und Blau auf ihre Radien gelegt waren, wurden diejenigen ausserhalb der zwei Hauptrichtungen bestimmt aus den von H. Helmholtz gemessenen Complementärfarben und der Ausdehnung seiner Tabelle, wie sie aus der obengenannten Curve sich ergab, indem immer der Radius einer Farbe senkrecht gestellt wurde zum Radius der schon festgelegten complementären. Die Zwischenwerthe und der stetige Uebergang zu den neuen Zunahmen fanden sich mit Hülfe graphischer Darstellung des Gesetzes, indem die Winkelgrössen als Abscissen, die Wellenlängenzunahmen als Ordinaten einer Curve aufgetragen wurden.

Dadurch ergab sich nun ein anderes Gesetz für die Zunahme der Wellenlänge jenseits Gelb und Blau als zwischen diesen Richtungen (die Curve geht nach einem gleichmässig gekrümmten Bogen fast geradlinig in's Unendliche), und es kann hiernach die ganze Interpolation nur auf Annäherung an die Richtigkeit Anspruch erheben; aber es giebt eine physiologische Erscheinung, die wenigstens ihre annähernde Richtigkeit sehr schön bestätigt. Wohl muss zunächst die erhaltene Vertheilung der Wellenlängen auf die Radien willkürlich und unwahrscheinlich aussehen. Den gleichen Schritten der Drehung entsprechen äusserst kleine Differenzen der Wellenlängen in den Punkten von Gelb und Blau, weit grössere schon in der Gegend von Grün, und überraschend grosse in der Gegend von Roth und Violett. Dieses Ergebniss ist aber durchaus im Einklang mit der Erfahrung. Nach den Voraussetzungen sollen gleichen Schritten der Drehung gleiche Schritte der Empfindung in allen Theilen der Figur entsprechen, und es ist ja Thatsache, dass die Empfindung von der Wellenlänge 6230 bis zur Wellenlänge 7060 sich nicht mehr verändert als von 5742 bis 5745. Die Empfindlichkeit für die Veränderung der Wellenlänge ist äusserst gering

bei Roth, nimmt dann zu gegen Gelb, erreicht dort ein Maximum, nimmt dann wieder ab bis Grün, ohne jedoch so tief zu sinken als bei Roth, dann folgt wieder eine Zunahme bis zu einem zweiten Maximum in Blau und wieder Abnahme bis Violett, wo die Empfindlichkeit ebenso gering ist als bei Roth.

H. Helmholtz sagt z. B.: „Roth nenne ich die Farbe des weniger brechbaren Endes des Spectrums, welche von der äussersten Grenze desselben bis etwa zur Linie C keine merkliche Aenderung des Farbentons zeigt.“ Zwischen diesen beiden Grenzen liegt aber eine Aenderung der Wellenlänge von nahezu 500 Zehnmilliontelmillimetern, die in anderen Theilen des Spectrums einen Schritt der Empfindung von Blau zu Grün oder von Grün zu Gelb hervorzurufen vermag. „Genauer ergeben die Versuche von Dobrowolsky folgende Verhältnisse für die Unterschiedsempfindlichkeit der einzelnen Farbentöne:

Im Roth (Linie B—C) . . .	$^1/_{115}$ bis $^1/_{167}$
„ Orange (C—D)	$^1/_{331}$
„ Gelb (D)	$^1/_{772}$
„ Gelbgrün (D—E) . . .	$^1/_{246}$
„ Grün (E)	$^1/_{340}$
„ Grünblau (E—F) . . .	$^1/_{615}$
„ Blau (F)	$^1/_{740}$
„ Indigoblau (G)	$^1/_{272}$
„ Violett (G—H)	$^1/_{146}$“ [1]

Wenn man diese Werthe in einer Curve darstellt und die Unregelmässigkeiten beseitigt,[2] wenn man ferner bedenkt, dass hier nicht das äusserste Roth, das äusserste Violett mit ihren geringsten Empfindlichkeiten zu den Versuchen beigezogen werden konnten, und dass für die Werthe von Gelb, Grün und Blau nicht gerade diejenigen Wellenlängen benutzt sein werden, mit denen die Farbe am empfindlichsten ist, so lässt die Uebereinstimmung mit unserer auf ganz anderem Wege gefundenen Figur nichts zu wünschen übrig, und es erwächst der Hypothese von den verschiedenen Schwingungsrichtungen im Nerven eine kräftige Stütze gerade in den Folgerungen aus denjenigen Annahmen, die zuvor am meisten willkürlich scheinen mussten. Freilich verlangt schon das Fehlen der Schwingungsrichtungen eines Octanten, dass die Schritte der Drehung nicht proportional den Schritten der Wellenlänge, sondern nach einem complicirteren Gesetze von ihnen abhängig seien; nur wenn endlich die grössten Aende-

[1] Siehe W. Wundt, *Physiologische Psychologie.*

[2] Siehe W. Wundt, a. a. O. Fig. 113.

rungen der Wellenlängen kein Fortschreiten in der Drehungsrichtung mehr erreichen, kann ohne Störung der Gesetzmässigkeit ein Sector ausfallen.

Unfertig ist die vorgetragene Hypothese in Beziehung auf die Art der Umsetzung des zerlegten und gedrehten Lichtstrahls in die beschriebene Schwingung im Zapfeninnenglied, ferner in Beziehung auf die Art der Umänderung dieser Bewegung bei der Fortleitung auf das Centralorgan, wobei — wie es scheint — verschiedene Nervenfasern verschiedene Bewegungsformen zu übertragen haben. Dadurch lässt sie auch unerklärt, warum in der stetigen Reihe der menschlichen Farbenempfindungen gerade vier verwandtschaftslose Eindrücke (Blau, Grün, Gelb und gelbfreies purpurartiges Roth oder vielleicht reiner Purpur) als Elementarempfindungen hervorzutreten und durch ihr Zusammenwirken alle übrigen Farbenempfindungen zu erzeugen scheinen. Sie lässt nur vermuthen, dass der Grund dieser Gliederung in der Auszeichnung der vier Hauptrichtungen im Gefüge der Nervenendfaser und in der Art jener Fortleitung enthalten sei.

Zur Kenntniss der sensiblen Nerven und Reflexapparate des Rückenmarkes.

Von

K. Hällstén
in Helsingfors.

12. Elektrotonische Erregbarkeitsveränderungen in sensiblen Nerven.

In einer vor sieben Jahren in diesem Archiv publicirten kleinen Abhandlung habe ich die Resultate einiger Untersuchungen hinsichtlich der Erregbarkeitsveränderungen in sensiblen Nerven bei Elektrotonus angegeben.[1] wenn ich hier auf dieselbe Frage zurückkomme, so geschieht dies aus folgenden Ursachen. In der genannten Abhandlung wurden nur die Endresultate der Untersuchungen angegeben, weil es sich zeigte, dass die in Frage stehenden Erregbarkeitsveränderungen der sensiblen Nerven sich ebenso verhalten, wie die der motorischen; in dieser Hinsicht scheint Grund vorhanden zu sein, die früheren Angaben in Bezug auf die verschiedenen Einzelheiten zu vervollständigen, um so mehr, als ältere Untersuchungen, wie bekannt, theilweise andere Resultate gegeben haben.[2] Weiter wurden die genannten Untersuchungen an Praeparaten von gesunden oder nicht strychninisirten Thieren ausgeführt; dabei war es nothwendig, stärkere und sogar bedeutend stärkere Reize anzuwenden, als bei solchen Untersuchungen an motorischen Nerven; um diese Unbequemlichkeit zu vermeiden, scheint Grund vorhanden zu sein, die Untersuchungen an Praeparaten von strychninisirten Thieren aufzunehmen, wo wahrscheinlich schwächere Reize zur Anwendung kommen können, und damit die Untersuchungen überhaupt vereinfacht werden.

---

[1] Elektrotonus in sensiblen Nerven. *Dies Archiv*, 1880. S. 112—114.

[2] Vergl. *Handbuch der Physiologie*. Bd. II. Abth. 1. S. 47.

Die folgenden Untersuchungen sind also an Praeparaten von strychninisirten Thieren ausgeführt; zugleich wurde in den Praeparaten das ganze Rückenmark sammt dem verlängerten Mark erhalten; das centrale Nervensystem war nämlich zwischen den Trommelfellen durchgeschnitten. Weiter waren beide Mm. gastrocnemii in den Praeparaten erhalten, um, wie in einem vorigen Artikel schon erwähnt wurde, aus der Reaction, welche der direct von dem motorischen Stamm gereizte Muskel zeigt, das Verhalten des angewandten Stromes zu beurtheilen, und zugleich um hier einen Querschnitt an dem sensiblen Stamm, dicht neben der untersuchten Stelle zu vermeiden. Als Reize wurden Inductionsströme angewandt. Ferner wurden zur Vermeidung möglicher elektrotonischer Wirkungen im Rückenmark die Elektroden des polarisirenden Stromes an den peripherischen Theil des sensiblen Stammes, in der Nähe des Muskels gestellt. Alle Elektroden waren selbstverständlich unpolarisirbar.

Die Untersuchungen bezweckten erst zu entscheiden, in welchem Stadium der Vergiftung die Praeparate verfertigt werden müssen, um ihrem Zweck am besten zu entsprechen; nachdem dies festgesetzt worden war, wurden die Untersuchungen so viel als möglich auf Praeparate aus diesem Stadium beschränkt.

Eine Unbequemlichkeit bei diesen Untersuchungen überhaupt ist, dass das Praeparat sich unter der Ausführung der Versuche verändert, so dass dasselbe Praeparat unter denselben äusseren Verhältnissen bei Wiederholung des Versuches nur einige wenige Male dasselbe oder ungefähr dasselbe Resultat giebt. Zur Vermeidung dieser Unbequemlichkeit habe ich versucht, constante Ströme statt der Inductionsströme als Reizmittel anzuwenden, aber die Resultate dieser Versuche sind vielleicht noch unvortheilhafter ausgefallen; die Untersuchung ist darum mit Inductionsströmen als Reizmittel durchgeführt worden.

Eine andere Schwierigkeit von der schon in einigen der vorhergehenden Artikel die Rede gewesen ist, macht sich auch bei diesen Untersuchungen bemerkbar, nämlich die Schwierigkeit ein minimales, und oft genug sogar ein untermaximales Reizmittel zu finden. Diese Schwierigkeit liess sich jedoch hier durch folgendes Verfahren vermeiden: Erst wurde das geringste zur Hervorrufung einer Reflexzuckung nöthige Reizmittel aufgesucht; dieses minimale Reizmittel, oder sogar ein etwas verstärktes wurde dann bei den darauf folgenden Versuchen angewandt, wenn nämlich die gereizte Stelle des Nerven in einen Zustand von Anelektrotonus versetzt werden sollte; die Untersuchung bezweckte nämlich in dem Falle festzustellen, ob bei einem gewissen Werth der Stärke des polarisirenden Stromes die Reflexzuckung, in Folge des in Frage stehenden Reizmittels, ganz und gar verhindert werden konnte hervorzutreten. Bezweckte aber die Untersuchung

einen katelektrotonischen Zustand an der gereizten Stelle des Nerven nachzuweisen, so wurde erst das minimale Reizmittel um so viel vermindert, dass es, wenn der Nerv unpolarisirt war, keine Reflexzuckung hervorrief; dann wurde der Nerv polarisirt, und die Untersuchung ging nun darauf hinaus zu entscheiden, ob bei einer gewissen Stärke des polarisirenden Stromes, dasselbe Reizmittel eine Reflexzuckung hervorrufen konnte.

In dem Bericht über die Versuche sind folgende Bezeichnungen angewandt: P bezeichnet die Länge der polarisirten Nervenstrecke, p die Entfernung zwischen den Polen des reizenden Stromes, und d die Entfernung zwischen diesen beiden intrapolaren Strecken; weiter bezeichnen r, r_1 und r_2 die Ausschläge, die die Reflexzuckungen in Folge der angewandten Reizmittel gaben, nämlich r ehe der Nerv polarisirt wurde, r_2 nachher und r_1 während der Nerv polarisirt war.

Nach diesen Andeutungen in Bezug auf die Methode und die angewandten Bezeichnungen, gehen wir zur Beschreibung der Versuche über und fassen sie, ebenso wie es in der vorhergehenden Abhandlung geschah, in folgende drei Abtheilungen zusammen:

1. Das Reizmittel wirkte extrapolar zwischen der polarisirten Nervenstrecke und dem Rückenmark.

Versuch 1 an Praeparaten aus einem früheren Stadium der Vergiftung. Bei solchen Praeparaten können die in Frage stehenden Erregbarkeitsveränderungen sogar zu wiederholten Malen hervorgerufen werden. Ein Beispiel hiervon ist folgender Versuch, der sich auf einen katelektrotonischen Zustand bezieht. Das Praeparat wurde zwei Minuten nach der Vergiftung verfertigt, als noch keine Vergiftungserscheinung an dem Thier beobachtet werden konnte; (die Dosis bei diesen Versuchen überhaupt war so gewählt, dass die ersten Vergiftungserscheinungen sich 4 — 5 — 6 Minuten nach der Vergiftung zeigten). Als polarisirender Strom wurden 1 und 4 Daniell angewandt, wie schon angedeutet wurde, mit dem negativen Pol näher zur untersuchten Stelle und zum Rückenmark. Folgende Tabelle zeigt die Resultate der mit einer Zwischenzeit von einigen Secunden vorgenommenen Reizungen an.

	r	r_1	r_2
1 Dan.	0	8·0 mm	0
1 „	0	7·5 „	0
1 „	0	6·6 „	0
4 „	0	8·9 „	0
4 „	0	6·9 „	0
4 „	0	6·7 „	0
4 „	0	8·1 „	0
4 „	0	7·2 „	0

Die erste Columne links giebt die Anzahl Daniell an, die in den verschiedenen Versuchsserien angewandt wurden, um den Nerven zu polarisiren; die zweite und die letzte Columne mit den Ueberschriften r und r_2 bezeichnen, wie schon gesagt, den Ausschlag, den das angewandte Reizmittel bei der Einwirkung auf den unpolarisirten Nervenstamm hervorrief, nämlich die erste Columne (r) bevor der Nerv polarisirt wurde, die zweite (r_2) nachher; die dritte Columne wieder mit der Ueberschrift r_1 giebt den Ausschlag in Folge der Reflexzuckungen an, als dasselbe Reizmittel auf den polarisirten Nerv einwirkte. Bei allen diesen Reizungen wurde dasselbe Reizmittel angewandt; ferner hatte hier der ganze Nervenstamm eine Länge von 54 mm, P oder die polarisirte Nervenstrecke in dem peripherischen Theil des Nervenstammes war 21, p oder die Entfernung zwischen den beiden Polen des reizenden Stromes betrug 3, und d oder die Entfernung zwischen den beiden intrapolaren Strecken ebenfalls 3 mm.

Der Versuch lässt also die katelektrotonische Erregbarkeitsvergrösserung schon bei 1 Daniell des polarisirenden Stromes hervortreten; aber die reizenden Ströme müssen stark sein im Verhältniss nämlich zu dem minimalen Reizmittel des von dem motorischen Nerven direct gereizten Muskels; dieser Umstand macht, dass die Reactionen im Allgemeinen nicht so regelmässig erscheinen, wie dieser Versuch vermuthen lässt. Aus diesen Gründen haben wir es versucht, die Untersuchungen überhaupt an Praeparaten aus einem späteren Stadium der Vergiftung auszuführen.

Versuch 2. Das Praeparat wurde 5 Minuten nach der Vergiftung verfertigt, nachdem die ersten Vergiftungserscheinungen deutlich hervortraten; der Nervenstamm hatte eine Länge von 54 mm; und hier war $P = 16$, $p = 2—3$, und $d = 2—3$ mm. Das minimale Reizmittel zur Hervorrufung der Reflexzuckung wurde bei der Entfernung von 332 mm zwischen den Spiralen gefunden: bei dem direct vom motorischen Stamm gereizten Muskel war diese Entfernung ungefähr um 100 mm grösser. Die Untersuchungen wurden auf folgende Art ausgeführt: das eben genannte Reizmittel wurde um so viel vermindert, dass es bei zwei Reizungsversuchen keinen Reflex hervorrief; dann wurde der polarisirende Strom von 1 Daniell in solcher Richtung geschlossen, dass sein negativer Pol näher zur untersuchten Stelle war; bei nun erfolgter Reizung wurde Reflexzuckung erzeugt, mit dem Ausschlag 6·8 mm und bei Wiederholung 6·5 mm; nach dem Oeffnen des polarisirenden Stromes erzeugte das angewandte Reizmittel keine Reflexzuckung; an der untersuchten Stelle trat also katelektrotonische Erregbarkeitsveränderung hervor. Dann wurde der Reiz um so viel vermehrt, dass er bei Einwirkung auf den unpolarisirten Nerven eine Reflexzuckung erzeugte mit dem Ausschlag 7·4 und bei der Wiederholung 7·0 mm; und so

wurde der polarisirende Strom in entgegengesetzter Richtung geschlossen, so dass der positive Pol der untersuchten Stelle näher war; mit dem eben erwähnten Reizmittel wurde nun in zwei Reizungsversuchen keine Reflexzuckung erzeugt; hier trat also die Verminderung der Erregbarkeit hervor. Einige Augenblicke später wurde die frühere Versuchsserie wiederholt; dabei waren erst die Ausschläge 0 und 0, als der Nerv nicht polarisirt war, nach der Polarisation aber 6·5 und 6·4, und zuletzt, nachdem der polarisirende Strom geöffnet wurde, wieder 0 und 0. Endlich wurde auch die andere Versuchsserie wiederholt, und wurde hier erst der Ausschlag 7·0 und 6·4 erhalten, als die Einwirkung des constanten Stromes ausgeschlossen war, dagegen erfolgte kein Ausschlag in zwei Reizungsversuchen, als die untersuchte Nervenstrecke in einen Zustand von Anelektrotonus versetzt wurde; und zuletzt, als der polarisirende Strom geöffnet wurde, gab dasselbe Reizmittel den Ausschlag 6·7 und 6·4. Die Resultate der Versuche treten vielleicht deutlicher in folgender Tabelle hervor:

	r	r_1	r_2
1 Dan.	0, 0	6·8, 6·5	0, 0
1 „	7·4, 7·0	0, 0	
1 „	0, 0	6·5, 6·4	0, 0
1 „	7·0, 6·4	0, 0	6·7, 6·4

Hier zeigen die erste und die dritte der Versuchsserien vergrösserte Erregbarkeit in Folge von Katelektrotonus, und die zweite und vierte Verminderung derselben in Folge von Anelektrotonus; als polarisirender Strom wurde bei allen Versuchen 1 Daniell angewandt.

Bei diesem Versuch traten also die kat- und anelektrotonischen Erregbarkeitsveränderungen in dem sensibeln Nervenstamm ganz ebenso hervor, wie in motorischen Stämmen, einige Male sogar bei Wiederholung der Versuche; wir fügen hier jedoch noch einen gleichartigen Versuch hinzu.

Versuch 3. Das Praeparat wurde fünf Minuten nach der Vergiftung verfertigt, als ein schwacher Krampfanfall von kurzer Zeitdauer vorhergegangen war. Die Elektroden waren fast ebenso geordnet wie bei dem vorhergehenden Versuch; auch hier wurde 1 Daniell als polarisirender Strom angewandt. Das minimale Reizmittel zur Hervorrufung des Reflexzuckung wurde bei der Entfernung von 425 mm zwischen den Spiralen gefunden; bei dem direct vom motorischen Stamm aus gereizten Muskel war der minimale Reiz unbedeutend schwächer. Die Versuche wurden ganz auf dieselbe Art und in derselben Reihenfolge ausgeführt, wie bei dem vorhergehenden Versuch; die Resultate können deshalb ohne Weiteres in folgender Tabelle zusammengefasst werden:

	r	r_1	r_2
1 Dan.	0	9·8	0
1 „	10·7, 9·2	0, 0	0, 0
1 „	0, 0	8·9, 8·1	0, 0
1 „	10·4, 9·4	0, 0	10·1, 9·8.

Die Polarisation geschah auch hier mit 1 Daniell; die erste und die dritte der Versuchsserien zeigen wieder vergrösserte Erregbarkeit in Folge von Katelektrotonus, die zweite und vierte dagegen Erregbarkeitsverminderung bei Anelektrotonus. Die Tabelle zeigt ferner, dass in der zweiten Versuchsserie das angewandte Reizmittel nach dem Oeffnen des polarisirenden Stromes keine Zuckung hervorrief; die anelektrotonische Erregbarkeitsverminderung bestand also noch in dem Augenblick, als die Reizung vollzogen wurde; unabhängig hiervon wurde der Versuch mit der dritten Versuchserie fortgesetzt, und wurde hierbei dasselbe Reizmittel wie in der zweiten Versuchsserie angewandt.

Die Versuchsresultate sind also hier dieselben wie bei dem vorhergegangenen Versuch; aber bei beiden Versuchen wurde ein ganzer Daniell angewandt, um den Nerven zu polarisiren; wir fügen deshalb noch einige Versuche hinzu, die zeigen, dass die in Frage stehenden Erscheinungen auch durch bedeutend schwächere polarisirende Ströme hervorgebracht werden.

Versuch 4. Das Praeparat wurde fünf Minuten nach der Vergiftung verfertigt, nachdem die Vergiftungserscheinungen deutlich hervorgetreten waren; ferner war hier $P = 11$, $p = 5$ und $d = 6^{\text{mm}}$. Als polarisirender Strom wurde 1 Daniell angewandt mit dem Rheochordbügel in der Entfernung von 10^{cm} vom Nullpunkt; (hierbei wurde ein Rheochord mit Neusilberdrähten, construirt nach Poggendorff's Princip, angewandt; der Diameter der Neusilberdrähte war $0·6^{\text{mm}}$). Hiermit wurde erhalten:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 10	0, 0	7·5, 6·8	0, 0
1 „ „ „	7·6, 7·0	0, 0	6·2, 6·0.

Von diesen Versuchen bezieht sich der erstere auf katelektrotonischen, der letztere auf anelektrotonischen Zustand.

Versuch 5. Das Praeparat wurde unter denselben Verhältnissen wie beim vorhergehenden Versuch verfertigt; hier war $P = 11$, $p = 4$ und $d = 2-3^{\text{mm}}$. Der polarisirende Strom war wieder 1 Daniell mit dem Rheochordbügel in der Lage 10^{cm}. Hiermit wurde erhalten:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 10	8·0, 8·0	0, 0	8·0, 8·0,

welches Resultat die Entstehung des anelektrotonischen Zustandes anzeigt.

Versuch 6. Auch hier war das Praeparat unter denselben Verhältnissen wie in den beiden früheren Versuchen verfertigt worden; ferner war $P = 9$, $p = 5$ und $d = 5^{mm}$; als polarisirender Strom wurde 1 Daniell angewandt mit dem Rheochordbügel in der Lage 5^{cm}. Hierbei wurde erhalten:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 5	6·9, 6·1	0, 0	6·7, 5·9,

d. h. einen anelektrotonischen Zustand in dem sensiblen Stamm.

Diese drei letzten Versuche bezweckten eigentlich etwas anderes und sind daher nicht wiederholt oder fortgesetzt für den hier beabsichtigten Zweck.

2. Das Reizmittel wirkte zwischen den Polen.

Versuch 7. Das Praeparat wurde fünf bis sechs Minuten nach der Vergiftung unter denselben Verhältnissen verfertigt, wie in den Versuchen 4, 5 und 6; hier war $P = 19$ und $p = 3$, und die letztere intrapolare Strecke in der Entfernung von 3^{mm} von der Anode des polarisirenden Stromes; der ganze Nervenstamm hatte eine Länge von 49^{mm}. Bei dem polarisirenden Strom war in allen den verschiedenen Versuchsserien der negative Pol näher zum Rückenmark. Das minimale Reizmittel zur Hervorrufung von Reflexzuckung wurde gefunden bei der Entfernung von 448^{mm} zwischen den Spiralen; für die direct von dem motorischen Stamm aus gereizten Muskel war das minimale Reizmittel beinahe dasselbe; bei der Entfernung von 452 dagegen entstand keine Reflexzuckung; bei der letztgenannten Lage der secundären Spirale wurden alle folgenden Versuche ausgeführt, über die nachstehende Tabelle nähere Auskunft giebt:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 5	0, 0	9·8	0, 0
1 „ „ 15	0, 0	6·4	0, 0
1 „ „ 50	0, 0	4·5, 3·6	0, 0
1 „ „ 90	0, 0	4·0, 2·8	0, 0
1 „	0, 0	2·3, 2·4	0, 0
2 „	0, 0	0, 0	0, 0

Von diesen Versuchen wurde der zweite (1 Daniell, Rh = 15) und der vorletzte (1 Dan.) unmittelbar wiederholt mit beinahe demselben Resultat; ebenso gab die Wiederholung der letzten Versuchsserie (2 Dan.) dasselbe Resultat.

Der Versuch lässt die katelektrotonische Erregbarkeitsvermehrung in der intrapolaren Strecke sichtbar werden; er zeigt zugleich, dass bei wach-

sender Stärke des polarisirenden Stromes die Erregbarkeit in der Nähe der Anode sich mehr und mehr vermindert.

Versuch 8. Dieser Versuch wurde unter denselben Verhältnissen ausgeführt wie der vorhergehende, aber in diesem Falle wurde das minimale Reizmittel nicht verringert; hier war $P = 22$, und die intrapolare Strecke p des reizenden Stromes = 4; ferner war die letztere intrapolare Strecke in einer Entfernung von 4·5 mm von dem positiven Pol des polarisirenden Stromes; die Länge des ganzen Nervs war 51 mm. Nachdem durch einige vorhergehende Versuche an anderen Praeparaten gefunden worden war, dass schon ein schwacher polarisirender Strom hinreicht, um die untersuchte Stelle in einen Zustand von Anelektrotonus zu versetzen, wurde so verfahren, wie die beigefügte Tabelle andeutet:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 1 cm	8·3, 8·1	8·0, 8·0	7·3, 7·9
1 „ „ 5 „	9·0, 8·0	0, 0	9·3, 8·4
1 „ „ 2 „	8·0, 8·7	8·0, 0	9·3
1 „ „ 2 „	8·9, 8·2	0, 0	9·0, 8·0
1 „ „ 1 „	9·1, 8·2	8·8, 7·2	8·7, 8·2
1 „ „ 2 „	8·4, 8·4	8·8, 6·7	8·4
1 „ „ 3 „	8·4, 7·2	0, 0	8·1, 6·4

Der Versuch zeigt, dass die untersuchte Stelle bei genügend starkem Strom in einen Zustand von Anelektrotonus versetzt wurde; die hierzu nöthige Stromstärke war erst von den Rheochordlängen 1 und 5 cm und später von den Rheochordlängen 1 und 3 cm begrenzt; der Versuch zeigt, dass ungefähr bei der Rheochordlänge von 2 cm der Indifferenzpunkt an der untersuchten Stelle vorbeigeschoben wurde.

3. Das Reizmittel wirkte extrapolar zwischen der polarisirten Nervenstrecke und dem Muskel.

Versuch 9. Die Vergiftung geschah mit derselben Quantität wie in den letzten Versuchen, aber die ersten Vergiftungserscheinungen traten in diesem Falle erst 10 Minuten nachher hervor; in diesem Augenblick wurde das Praeparat verfertigt. Hier war $P = 11$, $p = 2$ bis 3 und $d = 2$ bis 3 mm; der Nervenstamm hatte eine Länge von 55 mm und die polarisirende Strecke befand sich in einer Entfernung von 28 mm vom Rückgrat. In den verschiedenen Versuchen war der polarisirende Strom derselbe, 1 Daniell mit dem Rheochordbügel in der Lage 10 cm. Das minimale Reizmittel sowohl für den vom sensiblen sowie auch vom motorischen Stamm gereizten

Muskel wurde gefunden bei der Länge von 490 mm zwischen den Spiralen. Die beigefügte Tabelle zeigt die Versuchsresultate an:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 10	0·7, 0·1	10·0, 9·9	0, 0
1 " "	0, 0	10·1, 10·2	0, 0
1 " "	9·8, 9·0, 9·3	0, 0	10·0, 9·5
1 " "	0, 0	9·7, 9·7	0, 0

In dem ersten, zweiten und vierten Versuche hatte der polarisirende Strom eine solche Richtung, dass die untersuchte Stelle dem negativen Pol näher war oder in katelektrotonischen Zustand versetzt wurde; in dem dritten Versuch war im Gegentheil die untersuchte Stelle dem positiven Pol des polarisirenden Stromes näher, und solchermaassen in einem Zustand von Anelektrotonus.

Der Versuch lässt sichtbar werden, dass die elektrotonischen Erregbarkeitsveränderungen in sensiblen Nerven, nämlich ihre Vergrösserung bei der Kathode und ihre Verminderung bei der Anode, auch dann hervortreten, wenn das Reizmittel zwischen der polarisirten Strecke und dem direct gereizten Muskel wirkt.

Hiermit sind die in Frage stehenden Erregbarkeitsveränderungen im sensiblen Nerven dargelegt.

Vermittelst des hier angewandten Verfahrens gestalten sich also die Untersuchungen in Hinsicht auf die elektrotonischen Erregbarkeitsveränderungen in sensiblen Nerven auf eine relativ einfache Art; wenn das Praeparat verfertigt wird, nachdem deutliche Vergiftungserscheinungen hervorgetreten sind, so kann das Reizmittel ungefähr dieselbe Stärke haben, die gefordert wird, um vom motorischen Stamm eine minimale Zuckung hervorzurufen; und mit dieser Methode kann auch die katelektrotonische Erregbarkeitsvergrösserung in der extrapolaren, vom Rückenmark entfernteren Strecke dargelegt werden, was mit der früheren Methode nicht glückte.[1]

Noch einem hierher gehörenden Umstand schenken wir hier Aufmerksamkeit. In den oben referirten Versuchen, die sich auf die extrapolaren Theile des Nerven beziehen, befand sich die Stelle, deren Erregbarkeit untersucht wurde, ganz nahe an der polarisirten Nervenstrecke, nämlich nur 2—3—5 mm von derselben entfernt. Diese Versuche erlauben daher nicht zu beurtheilen, wie weit sich die elektrotonischen Erregbarkeitsveränderungen ausserhalb der Pole erstrecken. Zu diesem Zweck ist eine besondere Untersuchung erforderlich; wir erwähnen daher hier einige Versuche, die sich

[1] *Dies Archiv.* 1880. S. 114.

auf den zwischen der polarisirten Strecke und dem Rückenmark gelegenen Theil beziehen.

Versuch 10 in Hinsicht auf die Ausbreitung des anelektrotonischen Zustandes. Das Praeparat wurde fünf Minuten nach der Vergiftung verfertigt, nachdem deutliche Reaction eingetreten war; hier war $P = 9$, $p = 4$ und $d = 6^{mm}$; das minimale Reizmittel war bei der Lage 490^{mm} der secundären Spirale; als polarisirender Strom wurde 1 Daniell angewandt mit dem Rheochordbügel bei 6^{cm}; hierbei wurde erhalten:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 6	10·3, 10·9	0, 0	10·3, 10·0,

also anelektrotonischer Zustand an der nahe bei der polarisirten Strecke untersuchten Stelle. Dann wurden die Elektroden des reizenden Stromes verschoben, so dass $d = 21$ und p wieder $= 4^{mm}$ war; und der Versuch wurde auf folgende Art fortgesetzt:

	r	r_1	r_2
1 Dan., Rh = 6	9·2, 8·17	9·1, 9·1	9·2, 3·0
4 „	9·4, 8·2	0, 0	8·3, 1·7

In einer Entfernung von 21^{mm} von der polarisirten Strecke erzeugte also 1 Dan. Rh = 6^{cm} keine Wirkung, aber mit 4 Dan. polarisirenden Strom trat hier anelektrotonischer Zustand hervor.

Versuch 11. Das Verfahren war dasselbe wie bei dem vorigen Versuch, aber hier wurden unmittelbar die Elektroden in weiter Entfernung von der polarisirten Strecke gestellt, so dass $d = 20$, $P = 10$ und $p = 3$ bis 4^{mm}; mit 1 Dan., Rh = 50 trat keine Wirkung hervor, aber mit 2 Dan. wurde erhalten:

	r	r_1	r_2
2 Dan.	10·0, 10·9	0, 0	10·9, 10·0,

d. h. wieder anelektrotonischer Zustand in einer Entfernung von 20^{mm} von der polarisirten Strecke.

Versuch 12 in Hinsicht auf die Ausbreitung des katelektrotonischen Zustandes. Die Anordnungen waren dieselben wie in dem letztvorhergegangenen Versuch, aber der polarisirende Strom hatte eine andere Richtung, so dass die untersuchte Stelle in einen Zustand von Katelektrotonus versetzt wurde. Bei den Versuchen wurde ebenso verfahren wie oben, d. h. erst wurde das minimale Reizmittel zur Hervorrufung einer Reflexzuckung aufgesucht; das Reizmittel wurde dann ein wenig verringert, bis es keinen Reflex mehr hervorrief; mit dem auf diese Art bestimmten Reizmitttel wurden diese Versuche ausgeführt. Hier war $P = 12$, $p = 4$ und $d = 21^{mm}$;

mit 1 Daniell mit dem Rheochordbügel bei 5 und 50, und mit 1 Daniell und 4 Daniell wurde in diesem Falle keine Wirkung erzielt. Dann wurden die reizenden Elektroden näher zur polarisirten Strecke verschoben so dass $d = 11$ und $p = 4$ mm war; ein polarisirender Strom von 4 Daniell gab nun in zwei Versuchsserien:

	r	r_1	r_2
4 Dan.	0, 0	4·3, 3·1	0, 0
4 „	0, 0	2·8, 3·0	0, 0,

d. h. katelektrotonischer Zustand in einer Entfernung von 11 mm von der polarisirten Strecke.

Versuch 13, ebenso wie der vorige; hier war $P = 10$, $p = 2$ und $d = 22$ mm; durch dasselbe Verfahren wie im früheren Fall trat hier nicht katelektrotonischer Zustand mit 1, 2, 4 oder 6 Daniell hervor. Die Elektroden des reizenden Stromes wurden deshalb verschoben, dass $d = 15$ und $p = 2$—3 mm; nun wurde mit 6 Daniell erhalten:

	r	r_1	r_2
6 Dan.	0, 0	10·3, 8·5	0, 0,

also katelektrotonischer Zustand mit 6 Daniell, in einer Entfernung von 15 mm von der polarisirten Strecke.

Hiermit sehen wir es für erwiesen an, dass die elektrotonischen Erregbarkeitsveränderungen in sensiblen Nerven, sich wenigstens 15 und sogar 20 mm weit von der polarisirten Nervenstrecke zeigen können. Eine entferntere Ausbreitung, 20—25—30 mm, hat die hier angewandte Methode nicht aufzuweisen gestattet; es ist aber anzunehmen, dass unter günstigeren Verhältnissen, nämlich bei längerer polarisirter Nervenstrecke und polarisirendem Strom von grösserer Stärke, die in Frage stehenden Zustände in noch grösserer Entfernung von der polarisirten Strecke nachgewiesen werden können.

Beiträge zur Lehre von der Gerinnung.

Von

L. C. Wooldridge.

I. Ueber die Beziehungen zwischen Fibrinogen und Fibrin.

In meiner „Uebersicht einer Theorie der Blutgerinnung“[1] habe ich zu zeigen versucht, dass die Vorstufen des Fibrins nicht reine Eiweisskörper sind, sondern Substanzen, welche Eiweiss und Lecithin enthalten. Diese eigenthümlichen Stoffe, welche unter dem Namen der Fibrinogene bekannt sind, finden sich nicht allein im Blute. Aus fast allen thierischen Geweben (Thymus, Hoden, Gehirn, Leber, Niere, Stroma der rothen Blutkörperchen u. s. w.) können lecithinreiche Proteïde dargestellt werden, welche ich als Gewebsfibrinogene beschrieben habe. In Berührung mit Blutplasma gehen sie sowohl innerhalb der Gefässe des Thieres wie ausserhalb in Fibrin über.

Die Fibrinogene verschiedener Herkunft zeigen in ihrem Verhalten gegen manche Reagentien einige Abweichungen; dagegen wird durch eine Reihe übereinstimmender Eigenschaften ihre Zusammengehörigkeit sicher gestellt. Ich werde im Folgenden eine Anzahl gemeinschaftlicher Charaktere aufzählen und insbesondere ihre Beziehung zum Fibrin besprechen. Die Angaben beziehen sich auf die Fibrinogene des Blutplasma's, des Hoden, der Thymus, sowie der Stromata von rothen Blutkörperchen. Die frischen Fibrinogene sind in Wasser, in schwachen Alkalien, in verdünnten Salzlösungen scheinbar klar löslich. Ob es sich dabei um wirkliche Lösungen handelt, muss vorläufig dahingestellt bleiben. Stellt man sich aus Fettblut 4 procentiges Kochsalzplasma her und bringt dasselbe in eine Thonzelle, so

[1] *Festschrift für C. Ludwig.* Leipzig 1887.

filtrirt kein Fibrinogen. Wird der Versuch mit dem Blut nüchterner Thiere angestellt, so geht das Fibrinogen durch die Zelle hindurch. Aehnliche Beobachtungen sind an dem Caseïn der Milch gemacht.

Alle Fibrinogene sind äusserst empfindlich gegen Fällungsmittel. Man kann sie nicht niederschlagen ohne ihre Eigenschaften zu verändern, insbesondere ihre Löslichkeit. So sind z. B. die Stromata der rothen Blutkörperchen im Wasser löslich oder doch so aufquellbar, dass eine Scheinlösung entsteht; fällt man durch verdünnte Schwefelsäure, so geht die Löslichkeit bez. Quellfähigkeit verloren. Die Fibrinogene aus dem Hoden oder der Thymus werden durch Ausziehen der zerkleinerten Organe mit destillirtem Wasser gewonnen und geben klar filtrirende Lösungen. Durch Essigsäure niedergeschlagen werden sie in reinem Wasser unlöslich und man muss, um sie zu lösen, etwas Alkali oder Kochsalz zusetzen. Aehnlich verhalten sich die Fibrinogene des Blutplasma's. Man kann durch Verdünnung des Peptonplasma's mit der zehnfachen Menge Wasser und Durchleiten von Kohlensäure das Paraglobulin ausfällen. Ist dieses geschehen so kann das Plasma noch hundertfach verdünnt werden, ohne dass eine Fällung des Fibrinogen entsteht. Es kommt nur zu einer langsam eintretenden Gerinnung.

Die Fibrinogene sind alle fällbar durch Säuren. Die Fällung tritt erst ein wenn die Reaction stark sauer geworden ist. Werden verdünnte Mineralsäuren angewendet, am besten Schwefelsäure, so geht der Niederschlag im Ueberschuss der Säure wieder in Lösung und zwar um so leichter, je kürzere Zeit er gestanden hat. Nach längerem Stehen wird die Lösung unvollständig, die Flüssigkeit bleibt trübe.

Versetzt man Fibrinogenlösungen, welche durch überschüssigen Zusatz von verdünnten Mineralsäuren wieder klar geworden sind, mit Pepsin, und lässt einige Stunden bei 37° C. stehen, so entsteht ein voluminöser Niederschlag, welcher auch bei länger fortgesetzter Verdauung nicht in Lösung geht. So lange der Niederschlag frisch ist, löst er sich leicht in verdünnten Alkalien, aber nicht in verdünnten Säuren. In concentrirter Salpetersäure löst er sich mit gelber oder gelbgrüner Farbe; durch Erwärmen und Zusatz von Ammoniak erhält man die Xanthoproteïn-Reaction. Verbrannt hinterlässt der Niederschlag eine stark saure Asche. Hat man mit etwas Soda und Salpeter eingeäschert, so findet man reichlich Phosphorsäure. Der Phosphor stammt, wenn nicht ausschliesslich, so doch zum überwiegenden Theil aus dem Lecithingehalt des Verdauungsniederschlages. Durch Alkohol lassen sich relativ bedeutende Mengen von Lecithin aus dem Niederschlag ausziehen und durch wiederholte Extraction kann er so erschöpft werden, dass nur noch Spuren von Phosphor in die Asche übergehen.

Die Asche ist ferner stets eisenhaltig. Das Eisen kann dem Niederschlag vor der Einäscherung nicht durch salzsauren Alkohol entzogen werden.

Der Niederschlag, welcher bei der Verdauung der Fibrinogene entsteht, erinnert an die Körper, welche Miescher[1] und Bunge[2] durch Verdauung von Eidotter gewannen und als Nucleïn bez. als eisenhaltiges Nucleïn bezeichneten. Für das letztere gebraucht Bunge auch den Namen Haematogen.

Unter geeigneten Bedingungen gerinnen die Fibrinogene, sie bilden Fibrin, welches ebenso wie seine Muttersubstanzen reichlich Lecithin enthält. Mit Säure und Pepsin zur Verdauung angesetzt bildet das Fibrin keine Niederschläge, es löst sich vollkommen klar und bleibt gelöst wie lange man die Verdauung auch fortsetzen mag. Indem das Fibrinogen gerinnt, muss in der Beziehung des Lecithins zu den Eiweisskörpern eine Wandlung eintreten, so dass es durch den Verdauungssaft nicht mehr abspaltbar wird. Man muss berücksichtigen, dass die Fibrinogene möglicherweise nicht ohne Rest in Fibrin übergehen. Es können unter gewissen Umständen andere Eiweisskörper als Nebenproducte entstehen. Auch diese sind im Verdauungssaft löslich.

Die Angabe, dass sich der Faserstoff durch Pepsin klar lösen lässt, bezieht sich auf Fibrin, welches aus isolirten Fibrinogenen dargestellt ist. Wird gewöhnliches Fibrin, durch Schlagen des Blutes gewonnen, der Verdauung unterworfen, so bleibt immer ein beträchtlicher Rückstand. Nach Hammarsten soll derselbe von den eingeschlossenen weissen Blutkörperchen herrühren. Das mag zum Theil richtig sein; es ist indessen noch eine andere Erklärung möglich. Dem Auftreten des Fibrins geht eine Ausscheidung von Scheiben (Discs) voraus, wie ich dies mehrfach beschrieben habe. Diese Scheiben kleben sehr leicht zusammen und bilden dann Massen, welche nur wenig angegriffen werden bei dem Gerinnungsact. Sie bilden Reste von wenig verändertem Fibrinogen, welche in das Fibrin eingelagert sind und bei der Verdauung den oben erwähnten Niederschlag bilden.

Ich lasse die Beschreibung einiger Versuche folgen, welche die vorausgegangenen Betrachtungen illustriren.

1. Pferdeblut wird in Bittersalzlösung ($MgSO_4$) aufgefangen und centrifugirt. Aus dem Plasma wird durch halbe Sättigung mit Kochsalz das Fibrinogen gefällt, der Niederschlag abfiltrirt, zwischen Filterpapier gut ausgepresst und in zwei Theile gesondert.

---

[1] *Medicinisch-chemische Untersuchungen*, herausgegeben von Hoppe-Seyler. 1871. Hft. 4. S. 441 u. 502. — Ferner Kossel, *Zeitschrift für physiologische Chemie.* Bd. III—VII.

[2] *Zeitschrift für physiologische Chemie.* 1884. Bd. IX. S. 49.

Theil A wird mit 0·2% HCl und Pepsin angesetzt. Nach dreitägiger Verdauung bleibt ein sehr bedeutender Niederschlag ungelöst zurück.

Theil B wird unter Zusatz einer sehr kleinen Menge Alkali in Wasser gelöst und mit Pferdeserum versetzt. Die Flüssigkeit gerinnt in etwa einer halben Stunde, und später scheidet sich ein sehr fester Kuchen ab. Derselbe wird zerschnitten und mitsammt der ausgepressten Flüssigkeit zur Verdauung angesetzt. Nach 24 Stunden ist das ganze klar wie Wasser gelöst. Auch nach mehreren Tagen tritt keine Trübung ein.

2. Vollkommen klar centrifugirtes Peptonplasma wird mit verdünnter, etwa 0·3 procentiger, Salzsäure versetzt. Der Anfangs auftretende Niederschlag verschwindet bei weiterem Zusatz der Säure; der völlig klaren Lösung wird dann Pepsin zugefügt. Nach 24stündigem Verweilen im Brütofen ist das Gemisch ganz weiss und undurchsichtig geworden und es scheidet sich nach mehrstündigem Stehen in der Kälte ein flockiger Niederschlag ab. Aus 25 ccm Peptonplasma erhielt ich 0·26 grm gewaschenen und getrockneten Niederschlag.[1] Derselbe hat die oben angeführten Eigenschaften, enthält also reichlich durch Alkohol ausziehbares Lecithin, er enthält Eisen in einer Form, welche nicht in salzsauren Alkohol übergeht u. s. w.

Der Versuch wurde mit anderen Portionen von Peptonplasma wiederholt und hat dasselbe Resultat gegeben.

3. Aus Peptonplasma wird durch Abkühlung das A-Fibrinogen ausgefällt. Dasselbe löst sich langsam in 0·2% HCl. Nach Zusatz von Pepsin und mehrstündigem Stehen im Brütofen bildet sich ein starker Niederschlag.

4. Aus Peptonplasma wird durch verdünnte Schwefelsäure sämmtliches Fibrinogen ausgeschieden und abcentrifugirt. Der Niederschlag wird im Ueberschuss der Säure gelöst und zur Verdauung angesetzt; dabei tritt wieder Fällung ein.

5. Aus Peptonplasma wird mittelst Kochsalz das gesammte Fibrinogen gefällt. Es erleidet dabei, wie ich bereits früher angegeben habe,[2] eine Veränderung, so dass es in verdünnten Säuren oder in normaler Kochsalzlösung nicht gelöst werden kann. In diesem Falle ist es vollkommen klar verdaulich.

6. In 300 ccm Peptonplasma erzeugte ich mittelst Durchleitung von CO_2 Gerinnung. Das ausgedrückte und gewaschene Fibrin löst sich im künstlichen Verdauungsgemisch völlig klar auf.

---

[1] Ich bemerke, dass Peptonplasma etwa 2% Fibrinogen (Trockengewicht) enthält.

[2] *Uebersicht.*

7. Normales Hundeserum und ebenso Serum von Peptonplasma nach vollständiger Gerinnung geben bei der künstlichen Verdauung keine oder kaum sichtbare Fällungen. Das Auftreten schwacher Trübungen ist verständlich, da ich gefunden habe, dass das Hundeserum in der Regel Spuren eines Fibrinogens enthält.

8. Zu sehr stark peptonisirtem Plasma wird etwas gelöstes Gewebsfibrinogen (aus Thymus) gegeben, wodurch Gerinnung erzeugt wird. Sobald dieselbe sich bemerklich macht, wird mit einem feinen Glasstabe umgerührt um das Fibrin in Fäden auszuziehen. Dieselben waren im Verdauungssaft klar löslich. Ein weiterer Zusatz von kleinen Mengen von Gewebsfibrinogen ruft neuerdings Gerinnung hervor und selbst ein dritter Zusatz ist noch wirksam. Diese Beobachtung deutet auf sehr verwickeltete Vorgänge, wie die folgende Betrachtung lehrt:

Die zweite Gerinnung kann aus der sehr geringen Menge des neuerdings zugesetzten Gewebsfibrinogens allein nicht genügend erklärt werden. Es müssen somit gerinnungsfähige Stoffe die erste Coagulation überdauert haben. In der That giebt das Serum der ersten Coagulation mit verdünnten Mineralsäuren einen Niederschlag und hinterlässt einen Rückstand bei Verdauung. Es ist also noch Fibrinogen vorhanden.

Es lässt sich zeigen, dass dieser Rest nicht etwa von dem erstmals zugesetzten Gewebsfibrinogen herrühren kann; denn die nach der Abscheidung des ersten Gerinnsels gewonnene Flüssigkeit wird durch Essigsäure zwar gefällt, im Ueberschuss der Säure aber wieder gelöst. Wird dagegen Gewebsfibrinogen aus seinen Lösungen durch Essigsäure gefällt, so verschwindet der Niederschlag nicht im Ueberschuss der Säure. Ferner: das Serum der ersten Gerinnung zu frischem Peptonplasma hinzugefügt, erzeugt keine Gerinnung, was unfehlbar geschehen müsste, wenn Gewebsfibrinogen vorhanden wäre.

Der Rest von Fibrinogen ist aber auch nicht gleichwerthig dem Fibrinogen des ursprünglichen Peptonplasma's, denn das Serum der ersten Gerinnung, auf welches sich das Gewebsfibrinogen so wirksam erweist, kann durch Verdünnung und Kohlensäure nicht coagulirt werden, obwohl Fibrinferment vorhanden ist, während frisches, stark peptonisirtes Plasma durch die beiden Einwirkungen stets gerinnt und um so rascher, wenn Ferment vorhanden ist.

Wird dagegen derselbe Versuch mit schwach peptonisirtem Plasma angestellt, so wird durch den ersten Zusatz von Gewebsfibrinogen so ziemlich das ganze Fibrinogen des Plasma's in die Gerinnung hineingezogen. Es bleiben nur jene Spuren übrig, welche ich als Serum-Fibrinogen beschrieben habe.

Man kann also durch starke Peptonisirung die Fibrinogene des Plasma's sehr widerstandsfähig machen, so dass die Gerinnung auf Zusatz von Gewebsfibrinogen stufenweise eintritt. Immerhin müssen auch diejenigen Mengen von Fibrinogen, welche nicht gleich das erste Mal gerinnen, gewisse Veränderungen durchmachen, wie die Beobachtung lehrt und wie schon allein aus der Thatsache folgt, dass sie bei weiterem Zusatz von Gewebs-Fibrinogen in die Gerinnung hineingerissen werden.

II. Ueber die Bedeutung der Ausfällung für den Gerinnungsvorgang.

Sehr verschieden verhalten sich die Fibrinogene gegenüber Gerinnung erzeugenden Einwirkungen. Die möglichst unveränderten Fibrinogene des Blutplasma's werden vom Fibrinferment nicht angegriffen. Sie bedürfen zur Gerinnung des Zusatzes eines zweiten Fibrinogens, wie sofort weiter ausgeführt werden soll. Es giebt andere Fibrinogenlösungen wie das durch einmalige Ausfällung veränderte B-Fibrinogen des Blutplasma's (s. *Uebersicht*), welche gerinnen nicht nur mit anderen Fibrinogenen, sondern auch mit Ferment. Ein ähnliches Verhalten zeigen manche Hydroceleflüssigkeiten. Endlich giebt es auch Transsudate, welche leicht mit Ferment gerinnen, dagegen schwer oder gar nicht mit Fibrinogen. Es scheint, dass das Fibrinogen des Plasma's bei dem Durchtritt durch die Wand der Blutgefässe verändert wird oder auch in Folge des Verweilens ausserhalb der Gefässe.

Es sei gleich hier darauf aufmerksam gemacht, dass zur vergleichenden Prüfung verschiedener Lösungen von Fibrinogen das Serum ein sehr wenig geeignetes Reagens darstellt. Das gewöhnliche Hundeserum enthält zwei Bestandtheile, welche in Fibrinogenlösungen Gerinnung erzeugen können.

Der eine ist das Fibrinferment, welches nach Hammersten kein Eiweisskörper ist und welches auf verdünntes Bittersalzplasma sehr kräftig Gerinnung erzeugend wirkt. Es ist vollkommen sicher, dass es durch Erwärmen zerstört wird und dass es nicht als stoffliches Substrat des Fibrins dient.

Der andere Bestandtheil ist das Serumfibrinogen, ein Körper, welcher wie alle Fibrinogene durch Säuren fällbar ist.[1] Er besteht gleich diesen aus Eiweiss und Lecithin, und seine Wirkung ist eine von dem Fibrinferment ganz verschiedene. Er bringt Peptonplasma zur Gerinnung, was Ferment

[1] Note on a new constituent of blood serum. *Proceedings of the Royal Society.* March 31, 1887. Ein ähnlicher Körper lässt sich aus gewöhnlichem Fibrin darstellen.

nicht vermag. Er verschwindet bei dieser Gerinnung aus dem Plasma und die Menge des gebildeten Fibrins ist der zugesetzten Menge von Serumfibrinogen proportional. Auf Bittersalzplasma hat er im Gegensatz zum Fibrinferment keine Wirkung. Im Hundeserum ist das Serumfibrinogen immer nur in sehr kleinen Mengen vorhanden. Sammelt man es aus grösseren Mengen von Serum durch Ausfällung mit Säure und spritzt man den gelösten Niederschlag in den Kreislauf eines Kaninchens, so bleibt das Blut, welches nach der Injection aus der Ader genommen wird, durch mehrere Stunden flüssig. Nimmt man dagegen zur Injection das ursprüngliche Hundeserum, welches nur Spuren von Serumfibrinogen, dagegen viel Ferment enthält, so ist kein deutlicher Einfluss auf das Thier noch auf das Blut zu erkennen. Ich bin daher geneigt, die sog. „Fermentintoxication“ für eine Fibrinogenwirkung zu halten.

Tritt in Fibrinogenlösungen Gerinnung auf durch das Zusammenwirken zweier Fibrinogene, so scheint die Ausfällung eines der beiden Körper die Vorbedingung für den Eintritt des Processes zu sein. Das Peptonplasma enthält zwei Fibrinogene, welche ich als A- und B-Fibrinogen bezeichnet habe und welche sehr befähigt sind, auf einander zu wirken und Fibrin zu bilden. Sie verhalten sich aber indifferent gegen einander, so lange nicht eine Einwirkung stattfindet, wodurch das A-Fibrinogen aus der Lösung ausgefällt wird. Wenn man Peptonplasma auf 37° C. erwärmt und CO_2 durchleitet, so tritt keine Gerinnung ein. Bei Zimmertemperatur entsteht Gerinnung, viel rascher noch, wenn man vorher das Plasma etwas abgekühlt hat, so dass das A-Fibrinogen eben anfängt auszufallen.

Der Einfluss einer einmaligen Ausfällung wird durch folgenden Versuch sehr schlagend gezeigt: Aus einer Portion Peptonplasma stellt man sich das Fibrinogen durch Fällung mit starker Kochsalzlösung dar, nimmt den abfiltrirten Niederschlag in verdünntem Salzwasser wieder auf und setzt die Lösung zu einer anderen Portion desselben Plasma's. Es tritt rasch Gerinnung ein. Da Peptonplasma kein Fibrinferment enthält, so lässt sich die Erscheinung nicht auffassen als eine Fermentwirkung auf das gefällte und wieder gelöste Fibrinogen. Erinnert man sich jedoch, dass die Fibrinogene des Plasma's durch Ausfällung ihre Eigenschaften verändern, wie ich dies in der *Uebersicht* ausführlich besprochen habe, so wird es verständlich, dass das einmal niedergeschlagene Fibrinogen bei seiner Zusammenmischung mit dem ursprünglichen Plasma sich wie ein fremder Körper verhält und gerade so wirkt, als ob Gewebsfibrinogen zugesetzt worden wäre.

Welcher Art die Veränderung ist, welche die Fibrinogene durch Ausfällung erleiden, lässt sich gegenwärtig nicht erkennen. Doch legt die Erfahrung, dass alle Fibrinogene reich an Lecithin sind, und dass das Lecithin bei der Gerinnung eine sehr wichtige Rolle spielt, den Gedanken nahe,

dass der Gehalt des Stoffes an Lecithin oder die Art der Bindung im Molecül einer Störung erfährt. Hierfür scheint mir auch der folgende Versuch zu sprechen: Bei der Darstellung des Fibrinogens aus dem Hundeplasma kommt es oft vor, dass schon bei der ersten Ausfällung der Niederschlag so sehr verändert wird, dass er dem Faserstoff ähnlich wird. Er wird dann von verdünnten Salzlösungen nur schwierig wieder aufgenommen. Ein derartig verändertes Fibrinogen giebt bei der künstlichen Verdauung kaum eine Trübung; von der reichlichen Ausscheidung eines nucleïnartigen Körpers ist sowenig wie bei Fibrinverdauung etwas zu bemerken. Berücksichtigt man, dass der Phosphorgehalt des Rückstandes, welcher bei der Verdauung der Fibrinogene ungelöst zurückbleibt, zum grössten Theil, wenn nicht ausschliesslich, auf Rechnung des Lecithins zu setzen ist, so muss in dem Fibrinogen in Folge der Ausfällung eine derartig veränderte Beziehung zwischen Eiweiss und Lecithin stattgefunden haben, dass die Abspaltung des widerstandsfähigen nucleïnartigen Restes nicht mehr möglich ist. Wahrscheinlich geht damit eine leichtere Einwirkung des Lecithins oder der lecithinhaltigen Bestandtheile auf benachbarte Fibrinogene Hand in Hand. Es liegt nahe, sich über die Wirkung das Fibrinfermentes auf die veränderten Fibrinogene ähnliche Vorstellungen zu bilden.

III. Ueber die Wirkung des Gewebsfibrinogens auf das kreisende Blut.

Werden Lösungen von Gewebsfibrinogen in das Blutgefässsystem eines lebenden Hundes eingespritzt, so entstehen, wie ich wiederholt angegeben habe,[1] intravasculäre Gerinnungen. Merkwürdiger Weise treten dieselben aber nur in ganz bestimmten Gefässgebieten auf. Nimmt man zu den Versuchen hungernde, oder mit ganz magerem Fleisch gefütterte Thiere und lässt die Lösung von der Vena jugularis externa in's rechte Herz einfliessen, so findet man in der Regel nur Thrombosen in dem Gebiet der Portalvene. Die Thrombosirung ist um so ausgedehnter je mehr Gewebsfibrinogen injicirt wurde, aber es ist schwierig, selbst mit noch so grossen Mengen Gerinnungen in anderen Gefässgebieten hervorzubringen.

Nimmt man dagegen zu dem Versuch reichlich gefütterte und in voller Verdauung befindliche Thiere, so treten auch im rechten Herzen und in der Pulmonal-Arterie Gerinnsel auf; bei rascher Injection kann es zu einer Thrombosirung des rechten Herzens kommen, welche die Unter-

[1] *Proceedings of the Royal Society.* 1886; — On haemorrhagic infarct of the liver. Lancet Nov. 5, 1887 und *British medical Journal.* Nov. 8, 1887.

brechung des Kreislaufes und den augenblicklichen Tod des Thieres zur Folge hat, bevor noch die Lösung bis in das Portalsystem vordringen konnte.

An der Thatsache, dass das Gewebsfibrinogen bei nüchternen Thieren das rechte Herz, den kleinen Kreislauf, das linke Herz und schliesslich auch den Darm ohne Schaden passirt und erst in der Portalvene zu Gerinnungen Veranlassung giebt, folgt mit Nothwendigkeit, dass das Blut im Darme eine besondere Beschaffenheit annehmen muss, welche es jedoch bei dem Durchgang durch die Leber wieder verliert.[1] In den folgenden Beobachtungen scheint mir auch eine Andeutung zu liegen, in welcher Richtung die Veränderung zu suchen ist.

Lässt man dem Thiere kurz nach der Injection von Gewebsfibrinogen zur Ader, so erhält man ein Blut, welches äusserst langsam gerinnt. Je nach der Menge von Gewebsfibrinogen, welche eingespritzt wurde, dauert es Stunden oder Tage bis Gerinnung eintritt. Trotzdem enthält das Plasma bedeutende Mengen von Fibrinogen, welche durch Zugabe von Lecithin, oder Gewebsfibrinogen zur Gerinnung gebracht werden können. Dagegen widersteht es jenen Eingriffen, durch welche Kälteplasma oder gewöhnliches Peptonplasma gerinnen, wie Filtriren durch eine Thonzelle, Verdünnung und Durchleitung von Kohlensäure. Wie ich in meiner *Uebersicht* gezeigt habe, ist dies genau das Verhalten eines Plasma's, aus welchem ein zur Fibrinbildung wichtiger Stoff, das A-Fibrinogen entfernt ist. Es scheint somit, dass durch die Einbringung von Gewebsfibrinogen in den Kreislauf, dem Blute dieser Stoff entzogen wird und es ist, bei seiner grossen Neigung zu gerinnen, wahrscheinlich, dass er in Verbindung mit dem eingespritzten Gewebsfibrinogen die Thromben bildet, welche im Portalsystem zu finden sind. Daraus würde weiter folgen, dass das Blut in der Pfortader reicher ist an A-Fibrinogen als in anderen Gefässbezirken.

Diese Folgerung lässt sich durch andere Beobachtungen stützen. Ich habe bei einer anderen Gelegenheit mitgetheilt,[2] dass Fütterung eines Hundes mit fettem Fleisch die Menge von A-Fibrinogen im Blute vermehrt. Ferner habe ich bereits oben erwähnt, dass bei Thieren, welche mit Fett gefüttert sind, die intravasculären Gerinnsel auch im rechten Herzen und in der Pulmonalarterie auftreten. Wird das Blut durch eine reichliche und fetthaltige Mahlzeit mit A-Fibrinogen überschwemmt, so scheint sich dessen Vorkommen nicht mehr auf das Gebiet der Pfortader zu beschränken, sei es, dass das A-Fibrinogen die Leber passirt, oder dass es durch den Ductus thoracicus dem Venenblute zufliesst.

---

[1] Man vergleiche damit die interessanten Beobachtungen Pawlow's, *dies Archiv*, 1887, über die Veränderungen des Blutes welches die Lunge passirt.

[2] *Proceedings of the Royal Society*. Jan. 8, 1885.

Die Thrombosirung der Vena portae bedingt zunächst ein gewaltiges Sinken des Blutdrucks, nach der Injection grösserer Mengen von Gewebsfibrinogen in solchem Grade, dass man Mühe hat, aus den geöffneten Carotiden Blut zu sammeln. Trotzdem erholen sich die Thiere in den meisten Fällen und bleiben am Leben. Die gebildeten Gerinnsel werden zum Theil wieder gelöst, zum Theil führen sie aber zu pathologischen Veränderungen der Leber: haemorrhagischen Infarcten mit nachfolgender Verfettung und Bindegewebsbildung. Von diesen Veränderungen will ich später ausführliche Mittheilungen geben.

Die Wirkung des Gewebsfibrinogens auf den Kreislauf des Hundes ist ebenso sicher wie die des Peptons. In dreissig Versuchen habe ich ausnahmslos die Thromben in der Portalvene erhalten. Ich bemerke übrigens, dass eine gewisse Verwandtschaft vorhanden ist zwischen den Wirkungen des Peptons und des Gewebsfibrinogens. Beide verhindern die Gerinnung, beide wirken quantitativ und hauptsächlich auf das Portalsystem. Pepton lähmt die Gefässe des Darmes, das Gewebsfibrinogen coagulirt das darin befindliche Blut.

Guy's Hospital, Februar 1888.

Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin.

Jahrgang 1887—88.

VI. Sitzung am 13. Januar 1888.[1]

Hr. Joseph hält den angekündigten Vortrag: „Zur feineren Structur der Nervenfaser."

Vor einigen Jahren glaubte Hr. Kupffer mittelst der Osmiumsäurefuchsinanwendung den fibrillären Bau des Axencylinders markhaltiger Nervenfasern auf das Endgültigste bewiesen zu haben. An Nerven von Fröschen und kleinen Säugethieren sah er nach dieser Behandlung auf dem Querschnitte eine „ganz gleichmässige" Vertheilung gleich grosser Pünktchen im Axenraume. Diese Punkte hatten einen geringeren Durchmesser, als der Abstand derselben von einander betrug. Noch instructiver erschienen Längsschnitte, hier sollten die im Querschnitte sichtbaren Pünktchen in der That longitudinal verlaufenden Fibrillen entsprechen. Wenn sonach auch hierdurch wiederum die Präexistenz der Fibrillen im gesammten Verlaufe der Nervenfaser unwiderleglich erwiesen schien, so musste sich doch nach Kupffer's Meinung, wohl hauptsächlich deshalb, weil der Abstand der Fibrillen von einander auf dem Querschnitte ein ziemlich beträchtlicher war, im Axencylinderraume noch eine Substanz befinden, in welcher die Fibrillen suspendirt waren. Als das Wahrscheinlichste dünkte es ihm, dass der Axenraum die Nervenfibrillen enthält, welche locker im Nervenserum flottiren.

Auf Anregung von Hrn. Prof. Fritsch, dem ich auch an dieser Stelle meinen innigsten Dank für seine zuvorkommende Liebenswürdigkeit und stets bereite Unterstützung ausspreche, begab ich mich an eine Nachprüfung der Kupffer'schen Resultate. Als Object für meine Untersuchungen wählte ich, ebenfalls auf Anrathen von Hrn. Prof. Fritsch, den elektrischen Nerven von Torpedo marmorata.

Der Nerv wurde in physiologischer Streckung auf einem Korke fixirt und für 2 Stunden in eine $^1/_2{}^0/_0$ Osmiumsäurelösung gelegt. Nach zweistündigem Auswaschen in destillirtem Wasser kam er alsdann auf 12 Stunden in eine wässerige Säurefuchsinlösung und von hier auf 6 Stunden in Alc. abs. Später habe ich an Kaninchen- und Froschnerven diese Methode vereinfacht und den

---

[1] Ausgegeben am 20. Januar 1888.

Nerven sofort nach dem Auswaschen in Wasser mit Alkohol erhärtet. Es wurden dann die einzelnen Quer- resp. Längsschnitte mit den verschiedensten Reagentien gefärbt; die besten Bilder lieferten mir neutrales Carmin (Fritsch) und Methylenblau.

Gleich beim Durchsehen der ersten Querschnittserien waren wir aber sehr erstaunt, die von Kupffer gezeichneten Bilder durchaus nicht wiederzufinden, ein ganz anderer Anblick bot sich uns dar. Die Markscheide sah Kupffer als einen continuirlichen schwarzen Ring. In unseren Praeparaten fanden wir ein Bälkchenwerk, zwischen dessen Maschen das von Osmium geschwärzte Mark lag. Dass wir es hier mit dem von Ewald und Kühne zuerst so genannten Neurokeratingerüste zu thun hatten, leuchtet sofort ein. Doch wird es gut sein, wenn wir die Markscheide zunächst einmal vernachlässigen — wir kommen später noch einmal auf sie zurück — und uns zu dem Axencylinder wenden.

Im Axenraume sieht man allerdings die von Kupffer beschriebenen Pünktchen, welche aber nicht gleichmässig vertheilt sind. Fällt es schon auf, dass die Färbung dieser Pünktchen, sei es mit Säurefuchsin, sei es mit Methylenblau, dieselbe ist, wie die des Netzwerkes in der Markscheide, so ist andererseits die Zahl dieser Pünktchen eine viel zu geringe, sie nehmen einen zu kleinen Bruchtheil des grossen Volumens vom Axenraume ein, als dass man sie für den Hauptbestandtheil des Nerven halten sollte. Nun hat sich Kupffer allerdings zu helfen gewusst, indem er neben diesen Fibrillen noch eine zweite Substanz, ein fragliches Nervenserum, annahm, in welchem die Fibrillen flottiren sollten. Ich glaube mich aber gegen eine derartige Auffassung wenden zu müssen, seitdem ich an einer grossen Reihe von Querschnitten besonders bei starker Vergrösserung mit Oelimmersion diese Pünktchen durch feine Striche zu einem zierlichen Netzwerk verbunden sah.

Nach meiner Ansicht befindet sich also im Axenraume ein Netzwerk, in dessen Maschen die Nervenfibrillen liegen. Dieses Maschenwerk übertrifft an Feinheit bei Weitem das sogenannte „Neurokeratingerüst“ in der Markscheide. Ueber die Natur desselben muss ich mich noch jeder Ansicht enthalten.

Demgemäss sieht man auch auf Längsschnitten im Axenraume mehrere durch einen ziemlich grossen Abstand von einander getrennte sehr schmale Leisten, welche, identisch mit den im Querschnitte sichtbaren Pünktchen, wohl als die Pfeiler des „Axengerüstes“ anzusehen sind.

Um von vornherein dem Einwande zu begegnen, als ob dieses Axengerüst vielleicht ein Kunstproduct wäre, möchte ich darauf hinweisen, dass dieser Ausdruck wohl etwas missbräuchlich angewendet wird und dass wir ja die meisten Gewebe unter dem Mikroskope immer erst nach der Vorbehandlung mit gewissen Agentien zu sehen bekommen. Fast niemals oder wenigstens sehr selten demonstriren wir das Gewebe, so wie es in dem Thierkörper existirt, sondern doch nur immer in dem Zustande, welchen es in Verbindung mit meist chemischen Agentien eingegangen ist. Dadurch, dass wir aber die Fehler, mit welchen wir operiren, kennen, gewinnen unsere Schlüsse an Sicherheit und für den Histologen gilt in dieser Beziehung der schon lange von den Astronomen anerkannte Satz: „Ein Fehler, den ich kenne, ist kein Fehler.“

Conservirt man nun einen Nerven in Osmiumsäure, so wird man an demselben, sofern er nicht gerade zu dünn ist, zwei Partien unterscheiden können, eine äussere, auf welche das Osmium gut eingewirkt hat, und eine innere, bis

zu welcher es wenig oder gar nicht eingedrungen ist. Als charakteristisch für den äusseren Bezirk des Nerven, welcher wohl am meisten den natürlichen Verhältnissen nahe kommt, können wir feststellen, dass der Axenraum der grösseren Nervenfasern immer um das Fünf- und Mehrfache an Volum die Markscheide übertrifft. Genauere Messungen ergaben für einen Theil der ziemlich grossen Fasern des elektrischen Nerven von Torpedo im Mittel für den Durchmesser der Markscheide 0.0015—0·003 mm, für den Axenraum dagegen 0·009 bis 0·0105 mm. Wird man sich daran gewöhnen, dieses, neben den vorher erwähnten Besonderheiten, als charakteristisch für einen normalen Nerven anzusehen, so darf man allerdings die in dem inneren Bezirke des Nerven gelegenen Fasern vernachlässigen. Hier nimmt der sogenannte Axencylinder einen verschwindend kleinen Theil des Axenraumes ein und stellt einen compacten Klumpen dar, der meist mehr oder weniger nach einer Seite gerückt ist. Um diesen Axencylinder sieht man dann bei starker Vergrösserung noch eine helle Membran, welche dem bei der Schrumpfung der Nervenfibrillen mitgerissenen, oben beschriebenen Netzwerke des Axenraumes entspricht.

Darf ich es noch einmal wiederholen, so muss in einer normalen Nervenfaser der Axenraum das grösste Contingent der Faser ausmachen und um das Fünf- bis Mehrfache an Durchmesser die Markscheide übertreffen; innerhalb des Axenraumes befindet sich ein feines Netzwerk, in dessen Maschen die Nervenfibrillen lagern.

Dass sich als Hauptbestandtheil der Nervenfaser in dem „Axengerüste" in der That die Fibrillen befinden, wird wohl von den meisten Forschern zugegeben und auf das Deutlichste noch durch Praeparate bewiesen, welche Prof. Fritsch vom Lophius gewonnen hat. Wenn von einigen anderen Seiten entgegengesetzte Anschauungen vertreten werden, so muss hervorgehoben werden, dass dieselben jeder thatsächlichen Unterlage entbehren. So will eine neuere, von Nansen, hauptsächlich unter Hrn. Dohrn's Leitung, in Neapel angefertigte Arbeit wieder Verwirrung in dieses Gebiet hineintragen. Nansen glaubt, ohne Beweise für seine Ansicht beizubringen, dass die Nervenfaser aus Primitivröhren besteht und die interfibrilläre Substanz, das Spongioplasma, die wirkliche nervöse Masse darstelle, während die Fibrillen, das Hyaloplasma, nur die Stützsubstanz bilden. Ich brauche kaum hinzuzufügen, dass die jahrelangen Bemühungen hervorragender Beobachter darauf gerichtet waren, gerade das Gegentheil festzustellen und eine vorurtheilsfreie Kritik auch die von ihnen beigebrachten Thatsachen wird anerkennen müssen. Denn gerade der Nachweis des Axencylinders i. e. der Nervenfibrillen bildete das einzig sichere Kriterium, welches uns von der Ganglienzelle bis zum Endorgan die nervöse Substanz erkennen liess.

Neben diesem neuen, bisher noch nicht beschriebenen Netzwerke im Axenraume wurde unsere Aufmerksamkeit alsdann auf das Verhalten der Markscheide gelenkt. Ich habe schon vorhin erwähnt, dass wir mit dieser Methode in dem Markmantel neben den durch Osmium grau gefärbten Fettkügelchen ein stark lichtbrechendes, meist stark dunkelgefärbtes Balkenwerk zu sehen bekamen. Auf den Längsschnitten ist dieses Gerüst ebenso deutlich zu demonstriren.

In dieser Gesellschaft hat vor nicht langer Zeit bereits Hr. Benda auf jenes Bild der Markscheide aufmerksam gemacht, welches in seinen mit Pikrinsäure und neuerdings mit Salpetersäure gehärteten Praeparaten den Eindruck eines zierlichen Rädchens macht. Mit Recht liess es aber Benda zweifelhaft, ob hier ein wirkliches Structurverhältniss der Markscheide vorliegt.

In der That muss ich mit einer Anzahl anderer Autoren annehmen, dass ein derartiges Gerüst in der Markscheide nicht praeformirt ist. Etwas anderes ist es aber, ob vielleicht in dem Markmantel neben dem Fette eine andere Substanz vorkommt, welche unter der Einwirkung verschiedener Agentien, sei es der Pikrin- oder Salpetersäure, sei es der Alkohol-Aetherbehandlung und, wie ich gefunden habe, nach Einwirkung von Osmiumsäure uns unter dem Bilde eines Bälkchenwerkes zu Gesichte kommt. Diese Frage muss, glaube ich, bejaht werden. Welcher Art ist nun dieser zweite Bestandtheil der Markscheide? Ewald und Kühne glaubten dasselbe als Neurokeratin ansprechen zu müssen, da bei der Verdauung des Nerven dieses Gerüst allein zurückblieb. Ich habe mich nun bemüht, die Versuche der beiden genannten Autoren, welche über ihre Methode leider nichts Genaueres veröffentlicht haben, zu wiederholen, und bin bis jetzt wenigstens stets zu dem entgegengesetzten Resultate gelangt. Frische Nerven werden vollkommen verdaut, aber auch Nerven, aus welchen mittelst Alkohol-Aetherbehandlung das Fett möglichst extrahirt war, und an welchen das „Markscheidengerüst“ auf das Deutlichste hervortritt, setzen der Verdauung keinen Widerstand entgegen. Zu diesen Versuchen wurden sowohl Pepsin als Trypsin verwandt und auch ein mir von Hrn. Prof. Munk in liebenswürdigster Weise zur Verfügung gestelltes Glycerinextract des Schweinemagens, welches Fibrin sehr schön verdaute, liess das in Frage stehende Gerüst nicht unbeeinflusst. Mir scheint daher die Bezeichnung „Neurokeratin“ für diese im Marke enthaltene Substanz nicht angebracht.

VII. Sitzung am 27. Januar 1888.[1]

Hr. E. du Bois-Reymond verlas Folgendes aus zwei Briefen (vom 19. November 1887 und 5. Januar 1888), welche er von Hrn. Dr. E. Below, Arzt in Mexiko, erhalten hat, und welche von dem verschiedenen Zustande der Entwickelung handeln, worin nach dessen älteren Beobachtungen die Ganglienzellen des Gehirnes bei verschiedenen neugeborenen Thieren gefunden werden.

„Bei Besprechung der nativistischen und empiristischen Theorie in Ihrer Rede über Leibnizische Gedanken in der neueren Naturwissenschaft fiel mir auf, dass der Rolle der Ganglienentwickelung bei den hülflos nnd den weniger hülflos zur Welt kommenden Jungen keine Erwähnung geschah. Im Sommer 1870 ermittelte ich über diesen Punkt Folgendes:

Wenn man „fertige Ganglienzellen“ diejenigen nennen darf, welche deutlich ausgebildeten Kern, Nucleolus und Ausläufer haben, so kommen hülflos geborene Junge mit unfertigen, dagegen die den Saugapparat sofort aufsuchenden, aufstehenden, herumlaufenden, also weniger hülflos zur Welt kommenden Jungen mit fertig ausgebildeten Ganglienzellen zur Welt.

Zu diesem Ergebniss kam ich auf folgende Weise:

In meiner Inaugural-Dissertation[2] über einen Fall von Lithopaedion beim Schaf (Greifswald, März 1870) fanden sich bei einem Schaffoetus schöne fer-

---

[1] Ausgegeben am 3. Februar 1888.

[2] Auszugsweise mitgetheilt in Virchow's *Archiv*, 1870, Bd. XLI, S. 307.

tige Purkinje'sche Zellen in der Rinde des Kleinhirns trotz der gegentheiligen Behauptung Arndt's. Darauf von Prof. Grohe an Virchow empfohlen, machte ich im pathologischen Institut zu Berlin unter Virchow's Leitung eine Reihe Untersuchungen am Foetalgehirn von Rind, Pferd, Schaf, Schwein, Meerschweinchen, Kaninchen, und von Hund, Katze, Ratte, Maus und Mensch in den verschiedensten Stadien der Entwickelung. Es ergab sich eine gewisse Gesetzmässigkeit des fortschreitenden Entwickelungsganges der Hirnganglienzellen im Foetalleben: die Ganglienentwickelung im Foetalgehirn ist am frühesten vorhanden in der Medulla oblongata und am spätesten in der Grosshirnrinde; sie schreitet fort von der Medulla nach der Kleinhirnrinde, dann nach dem Mittelhirn und zuletzt nach dem Grosshirn, der Ausbreitung der Rückenmarksstränge in das Gehirn folgend. Ich fand ferner, dass bei den hülfloser zur Welt Kommenden (wie Mensch, Hund, Katze, Ratte, Maus, Kaninchen) die Ganglienzellenbildung unvollendet ist zur Zeit der Geburt und noch kurz danach;[1] dass dagegen die Gehirne der Foeten von Pferd, Kalb, Schwein, Schaf, Meerschweinchen schon in früheren Foetalperioden, stets aber vor der Geburt, in allen bezüglichen Hirnpartien (Medulla, Kleinhirnrinde, Mittelhirn, auch schon in der Grosshirnrinde) fertige Ganglienzellenbildung zeigen. Hinsichtlich der Zellenmorphologie hielt ich mich als Basis an die Untersuchungen von Arndt und Besser.

Kurz ehe der französische Krieg ausbrach, begann ich auf Prof. Virchow's Anrathen, der meine Praeparate in Augenschein nahm und sich von der auffälligen Thatsache überzeugte, Schnitte zu fertigen und Zeichnungen für den Druck zu liefern. Der Krieg unterbrach diese Arbeit, sowie meine beabsichtigte akademische Laufbahn. Mehrere Jahre danach, 1877, schickte ich ein Resumé meiner Arbeit an Prof. Virchow, erfuhr aber nichts Weiteres darüber.

Bei der Bedeutung, die man, ob Empirist oder Nativist, der Ganglienzelle als letzter Etappe auf der Forschung nach den letzten für uns erkennbaren Ursachen beilegen muss, kann doch wohl jenes Factum, wenn es sich bestätigen sollte, nicht ganz ohne allen Werth sein.

Ich glaubte, Andere hätten die interessante Frage unterdess weiter behandelt, und versuchte mich dabei zu beruhigen, wiewohl es mir nicht gelang, irgend etwas darüber in der mir zugänglichen Litteratur zu entdecken. Da es mir nun aber scheint, dass die ganze Frage in Vergessenheit gekommen ist und ich von Prof. Virchow nichts mehr darüber hören konnte, möchte ich die Frage hierdurch im Interesse der Sache wieder an's Licht gezogen haben."

---

[1] Sonach hatte Leopold Besser in beschränktem Sinne Recht (Virchow's *Archiv*, 1866, Bd. XXXVI. S. 327.

Ueber Hörprüfung und über ein neues Verfahren zur exacten Bestimmung der Hörschwelle mit Hülfe elektrischer Ströme.

Von

Dr. L. Jacobson,
Assistenten der Universitäts-Ohrenklinik zu Berlin.

(Hierzu Taf. III.)

Nachdem durch Hrn. von Helmholtz's fundamentale Untersuchungen endgültig nachgewiesen worden ist, dass jede Klangmasse, welche auf unser Gehörorgan einwirkt, aus einer Summe einfacher, d. h. durch pendelartige Schwingungen hervorgebrachter Töne verschiedener Höhe besteht, eine Ansicht, welche zuerst von Ohm[1] ausgesprochen, dann aber von A. Seebeck[2] bestritten worden war, und dass ferner in unserem Ohre Gebilde vorhanden sein müssen, welche eine Zerlegung der zusammengesetzten periodischen Schallbewegung in ihre pendelartigen Componenten zu Stande bringen, musste das Bestreben der Ohrenärzte dahin gerichtet sein, bei Bestimmung der Hörschärfe Kranker neben anderen complicirteren Schallarten auch einfacher Töne sich zu bedienen. Und in der That haben die letzteren bei der Untersuchung Schwerhöriger in neuerer Zeit mehr und mehr Anwendung gefunden. Wie weit hierdurch praktische Resultate für die Dia-

[1] G. S. Ohm, Ueber die Definition des Tons nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene und ähnlicher tonbildender Vorrichtungen. Poggendorff's *Annalen der Physik.* Bd. LIX. S. 513 und: Noch ein Paar Worte über die Definition des Tons. *Ebenda.* Bd. LXII. S. 1.

[2] A. Seebeck, Ueber die Sirene. Poggendorff's *Annalen der Physik.* Bd. LX. S. 449; — Ueber die Definition des Tons. *Ebenda.* Bd LXIII. S. 353; und: Erzeugung von Tönen durch getrennte Eindrücke mit Beziehung auf die Definition des Tons. *Ebenda.* Bd. LXIII. S. 368.

gnostik der Ohrenkrankheiten gewonnen sind, kann an dieser Stelle nicht eingehender besprochen werden. Unterzieht man die einschlägige otiatrische Litteratur einer sorgsamen Musterung, so zeigt sich, dass die diesbezüglichen Meinungen zuverlässiger Autoren noch ausserordentlich weit auseinandergehen. Immerhin darf wohl angenommen werden, dass, wenn auch die Ergebnisse unserer Functionsprüfung bisher nur wenige sichere Anhaltspunkte zur Unterscheidung der einzelnen Ohrenkrankheiten von einander geliefert haben, grössere Erfolge in dieser Hinsicht bei Ausbildung einer exacten physikalischen Untersuchungsmethode vielleicht erzielt werden dürften. Denn obwohl noch nicht im Besitz einer solchen, haben wir doch bei Anwendung von Stimmgabeltönen zur Hörprüfung bereits eine Reihe bemerkenswerther Thatsachen feststellen können. So fanden sich Fälle, in denen die Hörschärfe für Töne verschiedenster Höhe, von der Contra- bis zur viergestrichenen Octave, anscheinend gleichmässig herabgesetzt war, andere, in denen hohe Töne ungleich besser gehört wurden als tiefe, noch andere, in denen das umgekehrte Verhältniss stattfand, endlich solche, in denen die Perceptionsfähigkeit für Töne verschiedener Schwingungszahl in gänzlich unregelmässiger Weise gelitten hatte. Die Ursache derartiger Functionsanomalieen kann einmal in dem Nervenapparat ihren Sitz haben — wird doch nach von Helmholtz die Empfindung verschiedener Töne durch verschiedene Fasern des Hörnerven vermittelt — sie kann aber auch in demjenigen Abschnitte des Ohres gelegen sein, welcher die Schallbewegung aufnimmt und den percipirenden Theilen übermittelt. Auf letzteren, welchen wir im Gegensatz zu dem schallempfindenden als schallleitenden Apparat bezeichnen wollen, finden lediglich die Gesetze der physikalischen Akustik Anwendung, insbesondere diejenigen des Mitschwingens, welches bekanntlich von der Masse, der Elasticität und der Dämpfung der mitschwingenden Körper abhängt. Weichen die genannten drei Constanten in ihrer Grösse von der Norm ab, so muss die Stärke des Mitschwingens für Töne verschiedener Höhe in bestimmt hiervon abhängigem Grade gegen den Normalwerth verändert sein. Und umgekehrt dürfen wir annehmen, dass, falls wir ein Verfahren finden, um die Hörschärfe Kranker für Töne verschiedener Schwingungszahl als Bruchtheil der normalen in exacter Weise zahlenmässig zu bestimmen, sich aus den Ergebnissen einer derartigen Functionsprüfung Anhaltspunkte für die Erkenntniss der pathologischen Veränderungen des schallleitenden Apparates werden gewinnen lassen. Derartige Bestrebungen scheinen mir aber um so berechtigter zu sein, als unsere objectiven Untersuchungsmethoden, in erster Linie also die Otoskopie und die Auscultation bei dem Kathetrismus der Tuba Eustachii, in zahlreichen Fällen sichere Schlüsse über den Sitz der Hörstörung nicht zulassen. In dieser Beziehung sind in neuerer Zeit interessante und wichtige

Beobachtungen von Bezold[1] veröffentlicht worden. Derselbe fand nämlich bei seinen zu statistischen Zwecken unternommenen zahlreichen Untersuchungen von Schulkindern, dass fast sämmtliche pathologische Trommelfellbefunde, circumscripte sowohl wie diffuse Trübungen und Verdickungen, Einwärtsziehung der Membran, Kalkeinlagerungen in die Substanz derselben, Perforationen und Narben vorkommen können bei durchaus normaler Hörweite für Flüstersprache, und dass diese schon von anderen Autoren in einzelnen Fällen constatirte Thatsache durchaus nicht selten zu beobachten ist. Bezold's Mittheilungen sind von besonderem Interesse deshalb, weil ihm zu seinen Hörprüfungen ungewöhnlich grosse Räume zur Verfügung standen, sodass eine Hörweite von 16 Metern und darüber noch festgestellt werden konnte.

Wenn wir uns nun die Frage vorlegen, auf welche Weise eine exacte Functionsprüfung in dem vorhin angegebenen Sinne im Stande sein möchte, die differentielle Diagnostik der Ohrenkrankheiten zu fördern, so bieten sich hierzu, wie mir scheint, drei Wege.

Einmal könnte man in Krankenhäusern bei einer grossen Anzahl von Personen, deren Ableben in Kurzem zu erwarten steht, die Hörschärfe für Töne verschiedener Höhe in sorgfältiger Weise bestimmen, um *post mortem* die vorhandenen anatomischen Veränderungen zu ermitteln. Dieses Verfahren indessen würde grosse und zahlreiche Schwierigkeiten verursachen. Zunächst lassen sich genaue Functionsprüfungen, die eine grosse Aufmerksamkeit erfordern, kürzere Zeit vor Eintritt des Todes bei sehr vielen Kranken überhaupt nicht mehr vornehmen, weil ihre Kräfte hierzu nicht ausreichen, oder weil ihr Sensorium bereits getrübt ist. Sodann gehört die Untersuchung des Gehörorgans zu den schwierigsten Aufgaben der anatomischen Technik. Ein dritter erschwerender Umstand, welcher meines Wissens noch nicht hervorgehoben ist, mir aber besondere Beachtung zu verdienen scheint, beruht darin, dass in sehr vielen Fällen, in denen die normale Function des Ohres gelitten hat, die Ursache hierfür anatomisch aller Wahrscheinlichkeit nach überhaupt nicht festzustellen sein dürfte. In dieser Beziehung scheint es mir von Vortheil, an ähnliche Verhältnisse in der Ophthalmologie zu erinnern. Es giebt eine Reihe abnormer oder krankhafter Zustände des Auges, welche wir *intra vitam* mit vollster Sicherheit zu erkennen vermögen, die sich aber später anatomisch nicht mehr constatiren lassen. Hierhin gehören einmal ein Theil der Refractionsanomalieen geringere Grade der Myopie, der Hypermetropie, und der regelmässige Astigmatismus, sodann zählen hierher die Anomalieen der Accommodation,

---

[1] Bezold, Schuluntersuchungen über das kindliche Gehörorgan. *Zeitschrift für Ohrenheilkunde.* Bd. XIV u. XV.

die Accommodationsparese, der Accommodationskrampf; es wären hier ferner zu nennen die Lähmungen der Augenmuskeln. Viele der genannten pathologischen Zustände verursachen gar keine anatomisch nachweisbaren Veränderungen; andere sind an der Leiche deshalb nicht mehr zu erkennen, weil die Tension des Bulbus *post mortem* sich ändert, und damit die Form sowie die optischen Constanten des Auges andere werden. Beim Ohre dürften die Verhältnisse in dieser Beziehung ganz ähnlich liegen. Auch hier ist die normale Function, wie oben bereits erwähnt, gebunden an gewisse physikalische Eigenschaften der mitschwingenden Theile. Wollten wir die Ursachen für die verschiedenen Arten von Functionsstörung in jedem Falle anatomisch feststellen, so müssten wir ermitteln können, in welcher Weise die einzelnen Theile des schallleitenden Apparates, zu welchem auch die nicht nervösen Gebilde des Labyrinths zu zählen sind, in Bezug auf Masse, Elasticität, Spannung und Dämpfung von der Norm abweichen, und hierzu dürfte, glaube ich, auch der geübteste Mikroskopiker schwerlich im Stande sein.

Unter diesen Umständen scheint es mir zweckmässig, die Ergebnisse der anatomischen Untersuchung auf andere Weise zu ergänzen und zwar der Art, dass wir den Schallleitungsapparat des Ohres beim Lebenden in veränderte Verhältnisse bringen und nun zu ermitteln suchen, wie die Function hierdurch beeinflusst wird. So könnten wir beispielsweise zunächst bei Normalen die Hörschärfe für Töne verschiedener Höhe feststellen und dann prüfen, wie sich dieselbe gestaltet, wenn wir durch Einblasen von Luft in die Paukenhöhle das Trommelfell nach Aussen, oder durch Aussaugen von Luft aus der Paukenhöhle nach Innen spannen. Der gleiche Versuch könnte angestellt werden in Fällen, in denen das Trommelfell durch Atrophie oder Narbenbildung abnorm erschlafft ist. Sodann könnten wir bei Kranken mit Trommelfellperforationen die Hörschärfe für Töne verschiedener Schwingungszahl ermitteln und prüfen, wie sich dieselbe ändert, wenn wir die Perforation durch ein „künstliches Trommelfell“ oder auf andere Weise verschliessen. Zweckmässig wird es ferner sein, die Einwirkung von pathologischen Zuständen auf die Function des Ohres in der Weise zu studiren, dass man an einem Ohrpraeparat die physikalischen Constanten der mitschwingenden Theile künstlich variirt uud die hierdurch bedingte Veränderung in der Grösse des Mitschwingens für Töne verschiedener Höhe auf graphischem oder optischem Wege zur Darstellung bringt, oder dem Ohre des Beobachters durch Auscultation wahrnehmbar macht.

Die so gewonnenen Resultate pathologisch-anatomischer und experimenteller Untersuchungen könnten schliesslich durch klinische Beobachtungen vervollständigt werden, indem man den Grad der Schwerhörigkeit für Töne verschiedener Schwingungszahl bei verschiedenen Formen von

Ohraffectionen zu ermitteln sucht. Hierzu wären nach meiner Ansicht diejenigen Fälle auszuwählen, bei welchen wir eine sichere Diagnose aus den objectiven Symptomen und aus der Krankengeschichte mit grosser Wahrscheinlichkeit stellen und ihre Richtigkeit durch den Verlauf des Leidens controliren können. Solche Kranke dagegen, bei denen die objective Untersuchung gar keine oder ungenügende Anhaltspunkte liefert, und bei welchen die Frage, ob eine Erkrankung des schallleitenden oder des schallempfindenden Apparats vorliegt, gewöhnlich auch durch den Verlauf resp. den Erfolg der Behandlung nicht beantwortet wird, dürften für die Erkenntniss des diagnostischen Werths einer genauen Functionsprüfung sich nur wenig eignen.

Ich möchte an dieser Stelle bemerken, dass Untersuchungen, welche darauf ausgingen, aus der eigenthümlichen Herabsetzung der Hörschärfe für Töne verschiedener Höhe Schlüsse auf den Sitz der Erkrankung innerhalb des Gehörorgans abzuleiten, in jeder der vorhin angegebenen Richtungen bereits angestellt worden sind. Ihren Zweck indessen konnten dieselben nur in unvollkommener Weise erreichen, weil wir bisher nicht im Stande waren, die Intensität von Tönen messbar abzustufen und so eine exacte zahlenmässige Relation zwischen der Hörschwelle des normalen und des pathologisch veränderten Ohres herzustellen.

Ein Mittel hierzu glaube ich gefunden zu haben. Bevor ich dasselbe beschreibe, sei es mir gestattet, die hauptsächlichsten Methoden, deren man sich zur zahlenmässigen Bestimmung der Hörschärfe für Töne bisher bedient hat, kurz zu besprechen und ihre Mängel zu erörtern.

Das Instrument, welches von den Ohrenärzten zu dem in Rede stehenden Zweck vorzugsweise benutzt worden ist, ist die Stimmgabel, mit welcher man in der That annähernd einfache Töne erzeugen kann. Um mit derselben die Hörschärfe eines Kranken zu bestimmen, hat v. Conta[1] im Jahre 1864 den Vorschlag gemacht, die Zeit zu messen, welche von dem Anschlag der Gabel bis zum Verklingen ihres Tons für das betreffende Ohr vergeht, und „den Grad der Hörschärfe durch die Zahl der verflossenen Secunden zu bezeichnen“. Dieses Verfahren, welches auch in neuerer Zeit einige Ohrenärzte acceptirt haben, beruht auf physikalisch unrichtigen Voraussetzungen. Wie ich im Archiv für Ohrenheilkunde[2] nachgewiesen habe, können wir die Hörschärfe eines kranken Ohres als Bruchtheil der normalen aus dem Verhältniss der bezüglichen „Hörzeiten“ allein überhaupt nicht berechnen; vielmehr ist hierzu ausserdem die Kenntniss des logarithmischen

[1] v. Conta, Ein neuer Hörmesser. *Archiv für Ohrenheilkunde.* Bd. I. S. 107.

[2] Jacobson, Ueber die Abhängigkeit der Hörschärfe von der Hörzeit. *Archiv für Ohrenheilkunde.* Bd. XXIV. S. 39; — und: Ueber zahlenmässige Bestimmung der Hörschärfe mit ausklingenden Stimmgabeln. *Ebenda.* Bd. XXV. S. 11.

Decrements der Stimmgabelschwingungen unbedingt erforderlich. Letzteres aber wird bei jeder Gabel einen anderen Werth haben, und die Bestimmung desselben, welche nur empirisch geschehen kann, ist mit den grössten Schwierigkeiten verbunden.

Ein zweiter Weg, um die Hörschwelle mit Stimmgabeln zahlenmässig festzustellen, besteht darin, dass man die Gabel in diejenige Entfernung bringt, in welcher bei einer gewissen constanten Stärke des Anschlags ihr Ton von dem zu untersuchenden Ohre eben noch vernommen wird, d. h. also die „Hörweite“ als Maass verwendet. Soll dieses berechtigt sein, so müssen wir genau die Beziehung kennen, welche zwischen der Intensität des Tones und der Entfernung der Stimmgabel von dem zu untersuchenden Ohre besteht.

Nehmen wir an, dass die Stärke des Schalls der Stärke des Stosses proportional ist, welchen die schwingenden Lufttheilchen unserem Gehörorgane ertheilen, d. h. also ihrer lebendigen Kraft, so muss sie im umgekehrtem Verhältniss stehen zu dem Quadrat der Entfernung, welche zwischen Schallquelle und Ohr besteht, vorausgesetzt, dass der schallerzeugende Körper punktförmig ist, und die von ihm ausgehenden Schallstrahlen sich in einem homogenen elastischen Medium nach allen Richtungen hin ungehindert ausbreiten können. Eine Prüfung dieses theoretisch zweifellos gültigen Gesetzes durch ausgedehnte Versuche hat v. Vierordt[1] unternommen. Die Anordnung derselben war folgende. Auf einem weiten ebenen Felde wurden vier Linien abgesteckt, deren Längen sich wie 1 : 2 : 3 : 4 verhielten. An dem einen Ende derselben befand sich der Beobachter, an dem anderen ein von v. Vierordt so genanntes „Schallpendel“, mit dessen Hülfe ein Geräusch erzeugt wurde, gerade stark genug, um in dem Ohr des Beobachters eine Schwellenempfindung auszulösen. v. Vierordt berechnete nun die Intensität dieses Geräusches aus der Fallhöhe des Pendels und gelangte zu dem der Theorie widersprechenden Resultat, dass die Stärke des Schalls nicht dem Quadrat, sondern vielmehr der ersten Potenz der Entfernung zwischen Schallquelle und Ohr umgekehrt proportional sei. Dieses überraschende Ergebniss bot Veranlassung, weitere Untersuchungen über den fraglichen Gegenstand anzustellen, eine Aufgabe, welcher sich in neuerer Zeit ein russischer Forscher, Hesehus,[2] unterzogen hat. Derselbe benutzte zu seinen Versuchen, welche ebenfalls auf einem weiten ebenen Felde angestellt wurden, eine grössere Anzahl sphaerischer Glocken

[1] Carl v. Vierordt, *Die Schall- und Tonstärke und das Schallleitungsvermögen der Körper.* Tübingen 1885.

[2] N. Hesehus, Ueber die Beziehung zwischen der Schallintensität und der Entfernung. *J. der russischen physikalisch-chemischen Gesellschaft.* (7) 1886 XVIII. S.268—274 und Beibl. 1887. S. 512.

von nur 1·5 cm Durchmesser und ermittelte die Entfernung, in welcher verschiedene Glockencombinationen (4, 9, 16) gleich stark gehört wurden, wie eine Glocke in einer bestimmten Entfernung vom Ohr (5, 10, 25 und 30 Schritt). Auf Grund dieser Experimente gewann er die Ueberzeugung, dass die Stärke des Schalls bei Ausbreitung desselben in freier Luft dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional sei, vorausgesetzt, dass letztere nicht weniger als 10 Schritt beträgt. Ich bin nicht in der Lage, mich für eine oder die andere der soeben mitgetheilten einander wiedersprechenden Ansichten zu entscheiden. Hesehus erhebt gegen die Beweiskraft der v. Vierordt'schen Versuche den Einwand, dass die bei ihnen benutzte Schallquelle zu gross war, um den Voraussetzungen der Theorie auch nur annähernd zu entsprechen, da nicht das Schallpendel allein, sondern gleichzeitig auch der ihm zur Unterlage dienende mitschwingende Tisch als Schwingungscentrum angesprochen werden müsse. Bei der von Hesehus gewählten Anordnung aber ist zu erwägen, dass bei einer Combination mehrerer tonerzeugender Körper die Intensität des Schalls durch Interferenz in unberechenbarer Weise modificirt werden kann, so dass es zweifelhaft ist, ob z. B. acht nahe aneinander befindliche Glocken einen acht Mal so starken Klang erzeugen als eine. Ein anderes Bedenken, welches sowohl gegen v. Vierordt's wie gegen Hesehus Untersuchungen geltend gemacht werden könnte, beruht darauf, dass sich bei beiden Versuchsreihen der Schall nicht, wie es die Theorie voraussetzt, nach allen Richtungen ungehindert ausbreiten konnte, sondern unten durch den Erdboden aufgefangen und zum Theil reflectirt wurde.

Das Gesetz, nach welchem die Intensität eines sich im unbegrenzten Raum fortpflanzenden Schalls mit der Entfernung abnimmt, ist also, wie sich aus dem Vorhergehenden ergiebt, zur Zeit experimentell noch nicht sichergestellt. Für seine Ausbreitung in geschlossenen Räumen aber, wie es die ärztlichen Untersuchungszimmer sind, kann von einem allgemein gültigen bezüglichen Gesetz überhaupt nicht die Rede sein, da die Schallwellen durch die Wände des Zimmers sowie durch die in demselben befindlichen Gegenstände je nach deren Gestalt und Anordnung in der verschiedensten Weise reflectirt und gebeugt werden müssen. Demnach kann die Entfernung, in welcher das zu untersuchende Ohr des Kranken einen Schall von bestimmter constanter Intensität eben noch wahrnimmt, nicht als Maassstab der in Zahlen auszudrückenden Hörschärfe gelten. Denjenigen Ohrenärzten gegenüber, welche sich auf v. Vierordt's Autorität berufen, wenn sie die Hörschärfe der Hörweite direct proportional setzen, möchte ich hier eine Bemerkung desselben Autors entgegenhalten, aus welcher die Unzulässigkeit eines derartigen Verfahrens deutlich genug hervorgeht. Auf S. 236 seines Werkes: „Die Schall- und Tonstärke und

das Schallleitungsvermögen der Körper“ heisst es: „dass die Berechnung der Schallschwächung bei dessen Fortpflanzung in einem abgeschlossenen Zimmer nicht streng durchgeführt werden kann, ist — weil eben die Bedingungen bei der Fortpflanzung mit zunehmendem Abstand sich ändern und überhaupt unanalysirbar sind — leicht ersichtlich. Immerhin aber kann als durchgreifende Norm aufgestellt werden, dass die Schwächung des Schalls viel geringer ist, als in freier Luft, wie ja auch die gewöhnliche Erfahrung uns lehrt, und dass nur innerhalb geringer Abstände von der Schallquelle (etwa bis $^1/_2$ ^{m}) die Schallschwächung den Abständen annähernd proportional ist.“ Dieser Ausspruch bezieht sich übrigens nicht allein auf Töne, sondern auf sämmtliche Schallarten, so dass also v. Vierordt es gerade ist, welcher die von einigen Ohrenärzten auch in neuerer Zeit verfochtene Ansicht, dass die Hörweite, sei sie mit der Uhr, oder mit dem Politzer'schen Hörmesser oder auch mit der Sprache bestimmt, als Maass für die Hörschärfe benutzt werden dürfe, bereits als unrichtig zurückgewiesen hat.

Gehen wir nun zu anderen Methoden über, welche empfohlen worden sind, um das Hörvermögen für Töne verschiedener Höhe zahlenmässig zu bestimmen, so hätten wir zunächst einen von Beerwald[1] angegebenen „Hörmesser“ zu erwähnen, bei welchem Glocken durch einen aus verschiedener Höhe herabfallenden Klöppel in Vibration versetzt werden. Die Stärke des Glockentons hängt hier natürlich von der an einem graduirten Quadranten abzulesenden Hubhöhe ab; in welcher Weise, ist von dem Autor dieses Hörmessers nicht erörtert worden. Der theoretische Zusammenhang ist aber unschwer abzuleiten. Stösst eine Masse m mit der Geschwindigkeit v auf eine ruhende Masse m_1, so ist die von letzterer aufgenommene Bewegungsmenge, d. h. das Product der Masse m_1 in ihre Geschwindigkeit v_1, gleich der von m abgegebenen Bewegungsmenge

$$m_1 v_1 = m(v - v_1),$$

woraus sich ergiebt

$$v_1 = \frac{m v}{m + m_1}.$$

Nun ist nach den Fallgesetzen

$$v = \sqrt{2 g h},$$

wo h die Höhe bezeichnet, um welche der Hammer bis zum Moment des Anpralls gesunken ist; also ist

$$v_1 = \text{const.} \sqrt{h},$$

mithin ist die lebendige Kraft, welche der Glocke von dem fallenden Hammer übertragen wird, $^1/_2\, m_1 v_1^2$, der Hubhöhe h proportional; und das-

[1] Beerwald, Ueber einen neuen Hörmesser. *Archiv für Ohrenheilkunde.* Bd. XXIII. S. 141.

selbe würde für die Tonstärke der Fall sein, wenn die gesammte lebendige Kraft oder ein zu ihr in constantem Verhältniss stehender Theil zur Schallbildung verwandt würde. Ob letzteres in Wirklichkeit stattfindet, lässt sich *a priori* nicht wohl entscheiden. Es müssten hierüber experimentelle Untersuchungen angestellt werden, bei welchen die Amplitude der durch den Hammer in Schwingung versetzten Glocke resp. Stimmgabel, falls wir eine solche als Schallquelle benutzen wollen, graphisch oder optisch darzustellen und ihre Beziehung zur Elevation des Hammers zu eruiren wäre. Aehnliche Versuche wären wohl auch erforderlich, um zu entscheiden, ob die Intensität des Schalls durch die zu seiner Erzeugung aufgewendete lebendige Kraft oder durch eine andere Grösse zu messen ist. Auch diese Frage hat v. Vierordt[1] experimentell behandelt. Durch das Aufschlagen von Kugeln, welche auf eine schwingungsfähige Platte herabfielen, erzeugte er einen Schall, dessen Stärke durch Aenderung von Fallhöhe und -gewicht variirt werden konnte. In einer sehr grossen Anzahl von Versuchen bestimmte er nun unter Benutzung verschieden schwerer Kugeln diejenigen Fallhöhen, bei denen eine gleiche Wirkung auf das Ohr ausgeübt wurde, und gelangte hierbei, von der Annahme ausgehend, dass „die Schallstärke s das Product des Gewichts p der Kugel in den mit einem bestimmten Exponenten ε versehenen Fallraum h, also $s = p\,h^{\varepsilon}$ sei, zu dem Mittelwerth $\varepsilon = 0{\cdot}6037$, so dass er also als Maass für die Schallintensität nicht die der Fallhöhe proportionale lebendige Kraft der Kugel $p\,h$, sondern viel eher noch ihr Bewegungsmoment $\frac{p}{g}\sqrt{2gh}$ anzusehen geneigt ist. Gegen diese Ergebnisse v. Vierordt's richten sich die in Wundt's philosophischen Studien veröffentlichten Arbeiten von Tischer[2] und Starke,[3] welche indessen in ihren Resultaten unter einander nicht übereinstimmen. Tischer nämlich fand, dass in der Gleichung $s = c\,p\,h^{\varepsilon}$ der Exponent ε weder $= 1$ noch $= 1/2$ sei, sondern sich mit Fallhöhe und -gewicht in ungesetzmässiger Weise ändere. Nach Starke dagegen kommt ε der Einheit so nahe, dass wir die Schallstärke der lebendigen Kraft proportional setzen dürfen. Bei dieser Meinungsverschiedenheit der genannten Autoren schiene es mir zweckmässig, die in Rede stehende Frage auf andere Weise in Angriff zu nehmen, und zwar so, dass man nicht die lebendige Kraft des stossenden Körpers, sondern diejenige der durch jenen in Schwingung versetzten Schallquelle selbst zu ermitteln sucht. Wählen wir als solche z. B. eine

---

[1] Carl v. Vierordt, a. a. O. S. 26 und 54.

[2] Tischer, Ueber die Unterscheidung von Schallstärken. *Philosophische Studien.* Bd. I. S. 489.

[3] Starke, Die Messung von Schallstärken. *Philosophische Studien.* Bd. III. S. 264 ff.

Stimmgabel und bringen dieselbe durch einen aus verschiedener Höhe herabfallenden pendelnden Hammer zum Tönen, so können wir diejenige Amplitude, bei welcher unser in constanter Entfernung und Richtung befindliches Ohr eine Schwellenempfindung erhält, auf graphischem Wege zur Darstellung bringen oder, wenn wir etwaige durch Reibung verursachte Störungen vermeiden wollen, durch photographische Aufnahme fixiren, wie ich dieses an anderer Stelle [1] angegeben habe. Ermitteln wir nun auf dieselbe Art bei weiteren Gabeln von gleicher Tonhöhe, deren Massen indessen ungleich sind, die bezüglichen Schwellenamplituden und berücksichtigen wir, dass diesen stets dieselbe Schallintensität entspricht, so werden wir aus den erhaltenen Werthen vielleicht ermitteln können, in welcher Weise die Schallstärke von Masse und Amplitude des tönenden Körpers abhängt. Hierauf allein aber kommt es an. Bei den von v. Vierordt, Tischer und Starke ausgeführten Untersuchungen bleibt es ungewiss, ob von der lebendigen Kraft der die Schallquelle mechanisch erregenden Ursache stets ein constanter Bruchtheil in Schall verwandelt wird. Dieses letztere aber ist meines Erachtens sogar ausserordentlich unwahrscheinlich, da die genannten Autoren trotz grösster Sorgfalt bei ihren Experimenten zu einander vollkommen widersprechenden Resultaten gelangt sind. Ist nun die Beziehung zwischen der Bewegung des die Schallquelle in Schwingung setzenden Körpers und der resultirenden Schallstärke eine inconstante, so werden Apparate, welche mechanisch in Erschütterung gesetzt werden, wie diejenigen der oben genannten Autoren zu messbarer Abstufung der Schallintensität nicht wohl geeignet sein. Für meinen Zweck aber, bei welchem es sich um zahlenmässige Bestimmung der Hörschärfe für Töne handelt, kommt als weitere Schwierigkeit noch hinzu, dass beim Anschlagen von Stimmgabeln oder Glocken durch eine Fallvorrichtung im ersten Augenblick ein klappendes Geräusch auftritt, wodurch die Ermittlung der Hörschwelle für den bei der Prüfung in Betracht kommenden Ton beeinträchtigt wird. Um dieses Hinderniss zu beseitigen, gäbe es nur zwei Mittel. Einmal könnte der anschlagende Körper mit einem weichen Stoff, wie etwa Leder oder Gummi, überzogen sein, was jedoch die Constanz des Apparats ausserordentlich schädigen würde. Sodann wäre vielleicht eine Einrichtung denkbar, um den Ton nicht schon im Augenblicke des Anschlags, sondern z. B. erst 5 Secunden später auf das Ohr einwirken zu lassen. Letzteres indessen würde grosse Schwierigkeiten verursachen und wäre überdiess nur dann berechtigt, wenn die Intensität des Tons beim Ausklingen in geometrischer Reihe sich vermindert.

[1] Jacobson, Ueber die Abnahme der Schwingungsamplituden bei ausklingenden Stimmgabeln. *Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin.* 1886—87. Nr. 16 und 17; in *diesem Archiv,* 1887. S. 476.

Die bisher besprochenen Methoden, bei welchen, um kurz zu recapituliren, entweder die Zeit gemessen wird, während welcher das zu untersuchende Ohr den Ton einer mit constanter Kraft angeschlagenen Stimmgabel noch wahrnimmt, oder der Abstand vom Ohre, bis zu welchem eine Tonquelle von constanter Intensität entfernt werden darf, oder endlich die mechanische Kraft, mit welcher der tongebende Körper angeschlagen werden muss, um eine Schwellenempfindung zu erzeugen, sind, selbst wenn die zur Zeit noch nicht völlig sichergestellten physikalischen Gesetze, die bei ihnen in Betracht kommen, durch weitere Untersuchungen aufgeklärt werden, wie ich in dem Vorhergehenden nachgewiesen zu haben glaube, nicht im Stande das Problem, welches in Rede steht, in befriedigender Weise zu lösen, d. h. also eine exacte zahlenmässige Bestimmung der individuellen Hörschärfe für Töne verschiedener Höhe zu ermöglichen.

Wohl aber ist letzteres zu erreichen, wenn wir uns zur Erzeugung der Töne, welche auf das zu untersuchende Ohr einwirken sollen, elektrischer Ströme bedienen, deren Abstufung, wie in Folgendem zu zeigen ist, es gestattet, die Tonstärke messbar zu variiren und so die Reizschwelle für jedes Ohr genau zu ermitteln. Auch in dieser Beziehung sind bereits mehrfache Versuche angestellt worden, von denen ich die hauptsächlichsten zunächst besprechen möchte.

Eine der ausführlichsten Arbeiten über den fraglichen Gegenstand ist die unter Berthold's Leitung angefertigte Dissertation von Albert Wodtke.[1] In derselben empfiehlt Verfasser zur Bestimmung der Hörschärfe mit Hülfe elektrischer Ströme zwei von einander verschiedene Verfahren. Bei dem ersten derselben wird in den Stromkreis einer Thermokette eine elektromagnetische Unterbrechungsgabel und als Nebenschliessung zu dieser ein mit einem Flüssigkeitsrheostaten verbundenes Telephon, bei dem zweiten dagegen wird in den Stromkreis der Kette ausser der Unterbrechungsgabel die primäre Rolle eines Inductoriums eingeschaltet, mit dessen secundärer Rolle ein Telephon in Verbindung steht. In beiden Fällen muss, wie ohne Weiteres ersichtlich ist, das Telephon einen allerdings von Obertönen begleiteten Grundton erklingen lassen, dessen Schwingungszahl mit derjenigen der Unterbrechungsgabel übereinstimmt. Bei der ersten Anordnung wird die Stärke desselben durch Einschaltung längerer Flüssigkeitsstrecken in dem Rheostaten, bei der zweiten durch grössere Entfernung der secundären von der primären Spule des Inductoriums vermindert. Die eben beschriebenen beiden Verfahrungsweisen kehren bei sämmtlichen Autoren, welche Apparate zur Bestimmung der Hörschärfe mit Hülfe elektrischer

[1] Albert Wodtke, Ueber Hörprüfung mit besonderer Berücksichtigung der Methode mit Hülfe elektrischer Ströme. *Inaugural-Dissertation.* Rostock 1878.

Ströme angegeben haben, im Wesentlichen wieder. Die letzteren unterscheiden sich von einander zunächst in einzelnen Punkten, welchen eine principielle Bedeutung nicht zukommt. So wird in einigen von ihnen der Strom der Kette nicht durch elektromagnetische Stimmgabeln, sondern nach Art des Wagner-Neef'schen Hammers durch Federn, in noch anderen durch Stromschlüssel unterbrochen, in welch letzterem Falle in dem Telephon natürlich kein Ton resp. Klang, sondern ein Geräusch entsteht. Sodann giebt es Apparate, bei welchen sich das Telephon wie in Wodtke's zweiter Anordnung im secundären Stromkreis befindet, bei welchem indessen die mit ihm verbundene bewegliche Rolle zwischen zwei im entgegengesetztem Sinne gewickelten feststehenden primären Rollen verschoben wird. Haben letztere völlig gleiche Dimensionen und enthalten sie eine genau gleiche Anzahl von Windungen desselben Drahts, so wird ihre Wirkung auf die bewegliche secundäre Spule = 0 sein, wenn diese von jeder der beiden primären gleich weit entfernt ist; es wird dann also das Telephon bei Unterbrechung des primären Stromkreises nicht tönen können. Verschiebt man aber die secundäre Spule auf einem die beiden primären verbindenden Schlitten, so wird der von dem Telephon ausgegebene Schall um so stärker sein, je mehr sich die secundäre Spule einer der primären nähert und von der anderen entfernt. In die Kategorie dieser Apparate gehört z. B. das „Audiometer oder Sonometer" von Hughes, mit welchem Richardson[1] und Maillard[2] Versuche angestellt haben. Wichtiger als die angegebenen Unterschiede in der Anordnung der einzelnen Theile sind die Berechnungsweisen, welche die verschiedenen Autoren ihren Apparaten zu Grunde legen.

Bezüglich der Abhängigkeit der Tonintensität von der Stärke der in der Telephonspule auftretenden Stromschwankungen sagt Wotdke Folgendes (a. a. O. S. 35): „Es ist ein physikalisches Gesetz, dass die Entstehungsstärke des Schalls proportional ist dem Quadrat der Amplitude und dem Quadrat der mittleren Schwingungsgeschwindigkeit. Die Schwingungsgeschwindigkeit findet ihren Ausdruck in der Tonhöhe und, wenn diese unverändert bleibt, ist die Schallstärke oder Tonstärke proportional dem Quadrat der Amplitude. Bei einem im Telephon hervorgerufenen Tone wird die Amplitude gegeben durch die Schwingungen der einzelnen Molecüle des Diaphragmas, welches sich über dem von einer Drahtspule umgebenen Eisenkern befindet. Das Diaphragma wird in Schwingungen versetzt durch

[1] Richardson, Some Researches with Prof. Hughes' new instrument for the measuring of hearing, the audiometer. *Proceedings of the Royal Society.* t. XXIX. p. 65—70 und *Nature.* t. XX. p. 102—103.

[2] L'audiomètre. Application du téléphone à la mesure de l'acuité auditive. Par M. le docteur Albert René. *Gazette des hôpitaux.* 1880. p. 644.

die Schwankungen des Magnetismus in dem Eisenkern und, da die Anziehungskraft eines Magnets direct proportional dem Magnetismus ist, ist auch die Grösse dieser Schwingungen, mithin die Amplitude, direct proportional dem Magnetismus. Der Magnetismus des Eisenkerns wiederum hängt von dem elektrischen Strom in der Drahtspule ab und ist nach physikalischen Gesetzen dessen Stärke proportional, also wird auch die Amplitude der Schwingungen der Stärke des elektrischen Stromes proportional sein, und somit ist in unserem Fall die Tonstärke direct proportional dem Quadrat der Intensität des elektrischen Stromes.“ Die anderen Autoren, welche Apparate zur Bestimmung der Hörschärfe unter Anwendung elektrischer Ströme angegeben haben, lassen diesen wichtigen Punkt vollständig unerörtert. Ich selber schliesse mich der von Wodtke ausgesprochenen Ansicht, nach welcher die Grösse der im Empfangstelephon auftretenden Stromschwankungen als directes Maass für die Schwingungsamplitude seines Diaphragmas betrachtet werden kann, vollkommen an, wenn ich auch, worauf später noch näher eingegangen werden soll, die von ihm beigebrachte oben citirte Begründung dieser Annahme nicht für correct halte. Was aber Wodtke's Berechnung der Stromintensität bei Abstufung derselben nach einem der von ihm angegebenen Verfahren anlangt, so ist dieselbe nach meiner Ansicht sicher nicht zulässig.

Für die erste seiner Versuchsanordnungen nämlich, stellt er die Behauptung auf, dass, wenn wir die im Telephon zur Geltung kommende Stromstärke bei Einschaltung einer $^1/_2$ ^{cm} langen Wassersäule im Rheostaten $= 1$ setzen, sie bei Einschaltung einer doppelt so langen $= {}^1/_2$, einer dreimal so langen $= {}^1/_3$ sein, d. h. also im umgekehrten Verhältniss zur Grösse des Rheostatenwiderstandes stehen müsse. Hierbei aber lässt er einmal unberücksichtigt, dass der Widerstand des das Telephon enthaltenden Stromkreises nicht allein von demjenigen des Rheostaten, sondern auch von dem Widerstand der Kette, der Telephonspule und der Leitungsdrähte abhängt, eine Vernachlässigung, welche freilich, da der Flüssigkeitswiderstand von überwiegender Grösse ist, wohl erlaubt sein dürfte, sodann aber übersieht er, dass in Folge der Wasserzersetzung im Rheostaten Polarisation eintritt, wodurch die Constanz der elektromotorischen Kraft in unregelmässiger Weise beeinflusst wird.[1] Bei seiner zweiten Versuchsanordnung ferner geht er von der Ansicht aus, dass die Intensität des inducirten Stroms dem Quadrat des Abstandes zwischen primärer und secundärer Spule umgekehrt proportional sei. Auch diese Annahme ist keineswegs richtig. Die Beziehung zwischen der Stärke des Inductionsstroms und der

---

[1] E. du Bois-Reymond, *Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik.* Leipzig 1875. Bd. I. S. 188. Anmerkung 1.

Entfernung der beiden Rollen von einander ist eine ausserordentlich complicirte. Wiedemann[1] sagt hierüber Folgendes: „Zur Bestimmung der in einer Spirale durch eine inducirende Spirale erzeugten elektromotorischen Kraft bedarf es der Auswerthung des Potentials beider Spiralen auf einander, wobei man beide von einem Strom von der Intensität Eins durchströmt denkt“ und ferner ebenda: „Das Potential zweier Drahtkreise von den Radien a und $a + c$, deren Ebenen um die Länge b von einander abstehen, ist annähernd

$$P_{1,2} = 4\pi a \left(\log \frac{8a}{\sqrt{c^2 + b^2}} - 2\right).“$$

Bei einem Inductorium handelt es sich aber nicht allein um zwei einfache Drahtkreise, sondern um zwei Rollen, deren jede aus einer grossen Anzahl einzelner, in ihrer Grösse und gegenseitigen Lage zu einander verschiedener Drahtkreise besteht. Um daher die in der secundären Rolle inducirte elektromotorische Kraft zu bestimmen, müssten wir die von jedem Drahtkreis der einen auf jeden der anderen ausgeübten Wirkungen summiren; hierdurch aber würden wir einen Ausdruck erhalten, welcher noch viel verwickelter wäre, als der von Wiedemann angegebene. Daraus ergiebt sich, dass die in der secundären Rolle inducirte elektromotorische Kraft aus der Entfernung beider Rollen allein überhaupt nicht abgeleitet werden kann, sondern ausserdem in complicirter Weise von den Constanten des angewandten Apparats, nämlich von der Länge der Rollen, ihrem inneren und äusseren Durchmesser und der Dicke der sie zusammensetzenden Drähte abhängig ist. In Uebereinstimmung hiermit sagt Rosenthal in seiner *Elektricitätslehre für Mediciner*, Berlin 1884, S. 106 und 107 bei Besprechung von du Bois-Reymond's Schlitteninductorium: „Die absolute Stärke der Inductionsströme hängt ab von der Stärke des Stroms, welcher in der primären Spirale geschlossen und geöffnet wird, von der Beschaffenheit des Apparats, d. h. von der Zahl und dem Widerstand der Windungen in der primären und secundären Spirale, der Menge weichen Eisens, welche in erstere eingelegt ist und dergleichen, endlich von der Entfernung der beiden Rollen von einander. In einem fertigen Apparat kann man nur die Stromstärke ändern, indem man verschieden starke Ketten anwendet oder Widerstände zwischen Kette und primärer Spirale einschaltet, oder den Abstand der beiden Spiralen wechseln. Ist dieser Abstand = Null, was der Fall ist, wenn beide Rollen ganz über einander geschoben sind (denn dann fallen ihre Mittelpunkte zusammen), so muss eine bestimmte Beziehung zwischen der Stromstärke in der primären Spirale und dem durch sie in der secundären Spirale entstehenden Induc-

[1] Wiedemann, *Die Lehre von der Elektricität.* 3. Aufl. Bd. IV. Abthl. 1. S. 83.

tionsstrom bestehen, welche nur von dem Bau des Apparats abhängt. Wir wollen diese die Inductionsconstante des Apparates nennen und durch c bezeichnen. Es ist also

$$i = c . J$$

worin i die Intensität oder Stärke des Inductionsstroms bedeutet, J die Stärke des primären Stromes und c die Inductionsconstante, einen ächten Bruch. Entfernen wir nun die Rollen von einander, so wird c kleiner; für jede Entfernung e der Rollen von einander hat c einen bestimmten Werth; aber zwischen e und c besteht kein einfaches Verhältniss, sondern dieses hängt wiederum von der Bauart jedes einzelnen Apparates ab.

Es bleibt daher, wenn man die Intensitäten der Inductionsströme genauer bestimmen will, nichts übrig, als jeden Apparat empirisch zu kalibriren.“ Zu diesem Zweck sind von den Physiologen, welche sich des Inductionsstroms zur Erregung von Muskel und Nerv so häufig bedienen, verschiedene Methoden angegeben worden, so von Fick, Kronecker und Christiani. Wollen wir also zur Bestimmung der Hörschärfe Apparate in Anwendung ziehen, wie der von Wodtke in der zweiten Versuchsanordnung benutzte oder wie etwa das Hughes'sche Audiometer, so müssen dieselben nach einer der von den genannten Autoren angegebenen Arten empirisch graduirt werden, wozu indessen kostspielige Apparate, z. B. eine Spiegelbussole, erforderlich sind. Wie ich bereits erwähnt habe, finden wir die von Wodtke beschriebenen Verfahrungsweisen in sämmtlichen Apparaten, welche bisher construirt worden sind, um die Hörschärfe auf elektrischem Wege zahlenmässig zu bestimmen, in der Hauptsache wieder. Aus diesem Grunde ist es unnöthig, die letzteren einzeln näher zu betrachten. Ich möchte nur noch ergänzend bemerken, dass einige Autoren, in deren Apparaten das Telephon mit der gegen die primäre verschieblichen secundären Rolle eines Inductoriums verbunden ist, in ihren bezüglichen Publicationen nicht einmal den Versuch gemacht haben, den Zusammenhang zwischen der Stärke des Telephonstroms und der Entfernung der Spulen von einander aufzufinden, sondern erstere einfach durch den in Millimetern gemessenen Abstand der Spulen von einander ausdrücken.

Wenn ich nun den Versuch unternehme, eine Methode aufzufinden, nach welcher die Hörschärfe Ohrenkranker für Töne mit Hülfe elektrischer Ströme in physikalisch exacter Weise als Bruchtheil der normalen Hörschärfe zu bestimmen wäre, so hätte ich zunächst die Frage zu beantworten, von welchen Bedingungen die Stärke des von dem Telephon ausgegebenen Tons resp. Schalls abhängig ist. Tritt in der Rolle des Empfangstelephons eine Stromschwankung auf, so wird, wie bekannt, durch Aenderung des Magnetismus eine Bewegung des Diaphragmas hervorgerufen. Die Grösse dieser Bewegung ist es, durch welche zunächst die Intensität des von dem

Telephon erzeugten Schalls bestimmt wird; durch Resonanz des Telephongehäuses wird letztere vermehrt. Da aber die Excursion eines mitschwingendenden Körpers derjenigen der erregenden Ursache proportional ist, so werden wir bei Abstufung des von dem Telephon erzeugten Schalls und bei Berechnung seiner Intensität lediglich die Schwingungsweite des Diaphragmas in Betracht zu ziehen brauchen. Der Vollständigkeit halber wäre noch zu erwähnen, dass auch ein der Platte beraubtes Telephon, durch dessen Spule ein periodisch unterbrochener Strom circulirt, einen Ton erklingen lässt, welcher nach Ansicht von du Moncel[1] durch moleculare Veränderungen innerhalb des Magnetkerns zu Stande kommt. Dieser Ton aber ist im Verhältniss zu dem durch die Bewegung des Diaphragmas erzeugten so ausserordentlich schwach, dass er dem letzteren gegenüber vernachlässigt werden kann.

Was nun die Beziehung zwischen der Grösse der in dem Empfangstelephon auftretenden Stromschwankungen und der Schwingungsamplitude seines Diaphragmas anlangt, so kann ich mich, wie vorhin bemerkt, der von Wodtke diesbezüglich gegebenen Ableitung nicht anschliessen, da ja nach dieser die Anziehungskraft eines Elektromagnetes der Stärke des ihn umkreisenden Stroms direct proportional sein soll, während sie thatsächlich dem Quadrat derselben proportional ist.[2] Ausserdem aber bin ich im Zweifel, ob wir das eben angeführte Gesetz, welches sich auf die Anziehung eines frei beweglichen Ankers durch einen Elektromagnet bezieht, ohne Weiteres auch auf das Telephon anwenden dürfen, in welchem der Magnet nicht auf eine völlig frei bewegliche, sondern auf eine rings am Rande fixirte, nur in den mittleren Theilen schwingungsfähige Platte einwirkt. In diesem Falle dürften meiner Ansicht nach Vorgänge stattfinden, auf welche wir die Gesetze des Mitschwingens übertragen können. Die letzteren sind von v. Helmholtz unter specieller Berücksichtigung eines dem unsrigen vollständig analogen Falls, nämlich für das Mitschwingen einer (magnetisirten) Stimmgabel unter Einwirkung eines periodisch unterbrochenen, einen Eisenkern umkreisenden galvanischen Strom entwickelt worden. In seiner „*Lehre von den Tonempfindungen*", Braunschweig 1877 (Beilage IX und X) giebt v. Helmholtz für die Bewegung einer elastischen Masse m, welche durch eine äussere periodische Kraft von der Grösse $A \sin nt$ erschüttert wird, folgende Gleichung:

$$x = \frac{A \sin \varepsilon}{b^2 n} \sin (nt - \varepsilon) + B e^{-\frac{b^2 t}{2m}} \sin \left\{ \frac{t}{m} \sqrt{a^2 m - \frac{1}{4} b^4} + c \right\}$$

wo x die Elongation der mitschwingenden Masse m zur Zeit t,

[1] Th. du Moncel, Sur la théorie du téléphone. *Comptes rendus.* 1878. p. 557.

[2] Dub, *Der Elektromagnetismus.* Berlin 1861. S. 133.

A die Amplitude der periodischen Ursache des Mitschwingens, n die Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit,

$-a^2$ der Elasticitätscoefficient der Masse m, d. h. die elastische Kraft derselben bei der Elongation 1,

$-b^2$ der Dämpfungscoefficient der Masse m, d. h. die dämpfende Kraft, welche auf die Masse m wirkt, wenn diese die Geschwindigkeit 1 besitzt,

ε eine von a, b, m, n abhängige Grösse,

e die Basis des natürlichen Logarithmensystems, B und c andere Constanten sind.

„Das mit B multiplicirte Glied in der Gleichung ist nur im Anfange der Bewegung von Einfluss; wegen des Factors $e^{-\frac{b^2 t}{2m}}$ wird es bei wachsender Zeit t immer kleiner und kleiner, so dass es schliesslich verschwindet.“ Also werden wir unter Vernachlässigung des genannten Gliedes setzen können:

$$x = \frac{A \sin \varepsilon}{b^2 n} \sin (nt - \varepsilon),$$

d. h. die mitschwingende Masse m macht pendelartige Schwingungen von gleicher Dauer wie die erregende Ursache, deren Amplitude $= \frac{A \sin \varepsilon}{b^2 n}$, d. h. der Amplitude A der periodischen Ursache des Mitschwingens proportional ist. In unserem Falle entspricht den in Mitschwingung versetzten Zinken der Stimmgabel das Diaphragma des Empfangstelephons, während die periodisch wirkende Ursache in den Schwankungen der magnetischen Kraft zu suchen ist, welche durch die in der Spule des Empfangstelephons circulirenden Ströme in den Eisenmassen desselben hervorgerufen werden.

Da sich nun die Intensität eines elektrischen Stroms durch Einschaltung von Leitungswiderständen in exacter Weise abstufen lässt, so besitzen wir in dem Telephon einen Apparat, mit dessen Hülfe der von mir angestrebte Zweck, zur Bestimmung der Hörschwelle Ohrenkranker Töne von messbar zu variirender Stärke herzustellen, erreicht werden kann.

Wenn wir unter den zahlreichen Anordnungen, welche hier möglich sind, eine Auswahl treffen sollen, so kommen zunächst folgende zwei Gesichtspunkte in Betracht. Einmal muss die Breite, innerhalb welcher sich die Intensität der von dem Telephon erzeugten Töne verändern lässt, möglichst gross sein, damit sowohl für das normale wie auch für das sehr schwerhörige Ohr die Empfindungsschwelle ermittelt werden kann. Sodann werden wir unter den im Uebrigen gleichwerthigen Verfahren dasjenige bevorzugen, bei welchem die Berechnung der jedesmal angewandten Stromstärke resp. Tonintensität aus den eingeschalteten Rheostatenwiderständen und den Constanten des Apparats die einfachste ist. Was nun ferner die

Verfahrungsweisen anlangt, um die Platte des Empfangstelephons in periodische Schwingungen zu versetzen, so haben die Autoren, welche sich bisher mit diesem Gegenstande beschäftigten, immer nur solche Anordnungen benutzt, bei welchen im Telephon nicht ein einfacher Ton, sondern nur ein aus verschiedenen Partialtönen zusammengesetzter Klang entstehen konnte. Ist nämlich das Telephon in den Kreis einer Kette eingeschaltet, welcher durch eine selbstthätige Unterbrechungsgabel oder -feder abwechselnd geschlossen und geöffnet wird, so muss in der seinen Eisenkern umgebenden Spule eine Stromschwankung auftreten, welche, graphisch dargestellt, etwa die in Fig. 1 *a* skizzirte Gestalt hat, bei der sich also die Intensität des Stroms plötzlich von Null zu einem constanten Werth erhebt, um, nachdem sie diesen eine Zeit lang beibehalten hat, wieder ebenso plötzlich auf Null herabzusinken u. s. w., während Stromschwankungen, welche einen einfachen Ton erzeugen sollen, die Form einer Sinuscurve, wie etwa die in Fig. 1 *b* gezeichnete haben müssten.

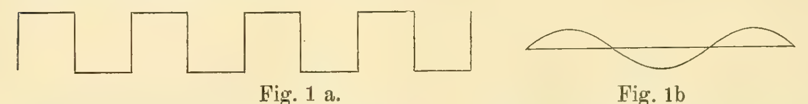


Fig. 1 a. Fig. 1b

Ist aber das Telephon mit der secundären Spirale eines Inductoriums verbunden, durch dessen primäre Rolle ein auf die oben angegebene Art rhythmisch unterbrochener Strom circulirt, so zeigen die in dem Telephon auftretenden Stromschwankungen, wie ein Blick auf die in E. du Bois-Reymond's[1] Abhandlung über den zeitlichen Verlauf voltaëlektrischer Inductionsströme gezeichneten Figuren lehrt, gleichfalls eine von der Sinuscurve ausserordentlich verschiedene Gestalt.

Wollen wir uns nicht damit begnügen, in dem zur Untersuchung der Kranken dienenden Empfangstelephon Klänge zu erzeugen, welche aus mehreren Partialtönen zusammengesetzt sind, — und aus den in der Einleitung angegebenen Gründen dürfte dieses gerechtfertigt erscheinen, — so müssen wir Anordnungen aufzufinden suchen, bei welchen in der Spule desselben pendelartige Stromschwankungen zu Stande kommen. Zu diesem Ende brauchen wir nur zwei Fernsprecher mit einander zu verbinden und auf das Diaphragma des Aufgabeapparats einfache Töne einwirken zu lassen, welche, wie aus den von E. du Bois-Reymond[2] und v. Helmholtz[3]

---

[1] E. du Bois-Reymond, *Gesammelte Abhandlungen zur allgemeinen Muskel- und Nervenphysik.* Leipzig 1875. Bd. I. IX. S. 228—257.

[2] E. du Bois-Reymond, *Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin.* 30. November 1877 und Zur Theorie des Telephons. *Dies Archiv.* 1877. S. 582.

[3] H. v. Helmholtz, Telephon und Klangfarbe. Wiedemann's *Annalen.* 1878. V. S. 448.

gegebenen Entwickelungen über die Theorie des Telephons hervorgeht, als einfache Töne gleicher Höhe von dem Empfangsapparat dem Ohr des Hörers übermittelt werden. Nach v. Helmholtz lassen sich einfache Töne zunächst durch Anblasen weiter gedackter Orgelpfeifen oder auch bauchiger Glasflaschen hervorrufen; um jedoch hierdurch Töne von constanter Intensität zu erhalten, würden wir eines Gebläses bedürfen, welches stets einen gleichmässig starken Luftstrom erzeugt. Hierin aber liegt eine so grosse Schwierigkeit für die technische Ausführung, dass es zweckmässig erscheint, von einer derartigen Einrichtung gänzlich abzusehen. Es bliebe uns nun noch eine andere Möglichkeit, einfache Töne von constanter Stärke zu erzeugen, indem wir Stimmgabeln, mit den entsprechenden Resonatoren versehen, entweder wie es v. Helmholtz bei seinen berühmten Versuchen über Zusammensetzung der Vocalklänge gethan hat, auf elektromagnetischem Wege in continuirlich anhaltende, gleichmässig starke Schwingungen versetzen, oder indem wir sie durch eine mechanische Vorrichtung mit jedesmal gleicher Kraft anschlagen, in welch letzterem Ealle wir einen immer mit derselben Stärke anhebenden, allmählich ausklingenden Ton erhalten. Mit noch geringeren Mitteln lassen sich einfache oder wenigstens nahezu einfache Töne erzeugen, wenn wir, anstatt Resonatoren zu benutzen, die Zinken der Stimmgabeln an ihren freien Enden mit Klemmen versehen, wie es von Politzer[1] beschrieben worden ist. Befestigen wir eine derartig eingerichtete Gabel in solcher Weise vor dem Aufgabetelephon, dass das freie Ende der einen Zinke der Mitte des Diaphragmas zugekehrt ist, sich von demselben in möglichst geringem Abstand befindet und zu der Ebene des Diaphragmas senkrecht schwingt, so erhalten wir bei Erregung der Gabel in dem Empfangstelephon einen Ton von ziemlich geringer Intensität. Wir steigern die letztere um ein Bedeutendes, indem wir die Platte des Aufgabeapparates entfernen und die Gabel in gleicher Stellung wie vorhin dem Magnete entsprechend nähern. Eine noch grössere Wirkung wird erzielt, wenn sich die Zinken der Gabel zwischen den Polen eines hufeisenförmigen Telephonmagnetes befinden. Eine derartige Anordnung ist in Fig. 1, 2 und 3 (Tafel III) gegeben. Dieselben stellen einen Apparat dar, wie er mir zum Zweck der geplanten exacten Hörprüfung geeignet zu sein scheint.

Auf einem Grundbrett A ist mittels der massiven Säule B die Stimmgabel C befestigt. An derselben Säule B ist eine Anschlagsvorrichtung für die Gabel angebracht. Dieselbe besteht aus einem Hammer D, dessen Stiel aus zwei Theilen zusammengesetzt ist, aus dem starren Theil a und

---

[1] Politzer, Beiträge zu den Hörprüfungen mittels der Stimmgabel. *Wiener medicinische Presse.* 1870. Nr. 13.

dem etwas federnden *b*. Der letztere trägt den aus Elfenbein bestehenden Klöppel *c*. Der Hammer ist um eine Axe *d* drehbar und wird durch die Spiralfeder *e* gegen den Anschlag *f* gezogen. Um dieselbe Axe *d* ist ein Mitnehmerstück *g* drehbar, welches heruntergedrückt den Hammer in die Höhe hebt, dagegen in die Höhe gehoben den Hammer in seiner Ruhelage verbleiben lässt. Dieses Mitnehmerstück *g* kann durch die Druckstange *E*, an welcher sich die Nase *h* befindet, heruntergedrückt, und so der Hammer gehoben werden. Erreicht die Nase *h* eine bestimmte Tiefe, so gleitet sie an dem Mitnehmerstück *g* vorbei, der Hammer wird ausgelöst und durch die Feder gegen den Anschlag *f* geschnellt; der federnde Theil des Hammerstiels *b* mit dem an ihm befestigten Klöppel *c* wird hierbei bis zum Anschlag der Gabel weitergeschleudert. Die Stärke des Anschlags ist abhängig von der Hubhöhe des Hammers, von der Stärke der Feder *e* und der Federkraft des Theiles *b*. Diese drei Grössen können leicht constant hergestellt werden. Damit die Gabel welche sich bei einem dem ersten Anschlage rasch folgenden zweiten vielleicht noch in Vibration befindet, vorher zunächst gedämpft wird, ist mit dem Hammerstiel fest verbunden eine Fortsetzung nach unten *i i*, welche an ihrem freien Ende ein Filzkissen *k* trägt. Letzteres wird, unmittelbar bevor der Hammer zur höchsten Höhe gehoben ist, gegen die untere Zinke der Gabel sanft angedrückt. Damit aber auch der federnde Theil des Hammerstiels unmittelbar vor der Auslösung nicht mehr schwingen kann, legt sich auch der Klöppel des Hammers, kurz bevor derselbe seine höchste Stellung erreicht hat, gegen ein zweites beliebig befestigtes Filzkissen *l*. Auf dem Grundbrett *A* ist ferner ein permanenter Hufeisenmagnet *FF* befestigt, dessen Pole die aus weichem Eisen bestehenden Polschuhe *G* und *G'* tragen; letztere sind von den hinter einander geschalteten mit dem Empfangstelephon verbundenen Inductionsrollen *H* und *H'* umgeben. Die Zinken der Gabel stehen den Polschuhen *G G'* möglichst nahe gegenüber. Damit auf das zu untersuchende Ohr nur der in dem Empfangstelephon entstehende, nicht aber der den Stimmgabeln selbst angehörende Ton einwirken kann, muss sich der Aufgabeapparat in einem anderen Zimmer oder wenigstens in hinreichender Entfernung von jenem oder endlich in einem genügend schalldichten Gehäuse befinden. Der Anschlag der Gabel wird daher zweckmässig auf pneumatischem Wege herbeigeführt. Zu diesem Ende befindet sich über der Druckstange *E* ein Gummibalg *J*, von welchem aus ein beliebig langes Gummi- oder Bleirohr zu einer Druckbirne *K* führt. Sobald letztere zusammengedrückt wird, dehnt sich der Gummibalg *J* aus und stösst die Druckstange *E* herunter, wodurch zunächst die Dämpfung der Gabel durch das Filzkissen *k*, die Beruhigung des Hammers durch das Filzkissen *l* und alsdann der einmalige Anschlag der Gabel *C* erfolgt.

Die Druckstange E wird hiernach durch die Spiralfeder m in ihre ursprüngliche Lage zurückgebracht, wobei die Nase h an dem Mitnehmerstück g vorbeigleiten kann, ohne dass der Hammer hierdurch in seiner Bewegung beeinflusst wird. — Um mehrere Gabeln mittels einer Druckbirne K auslösen zu können, ist ein kleines Windkästchen L angebracht, in welches einerseits der von der Birne K kommende Gummischlauch, andrerseits die von den Gummibälgen der einzelnen Gabeln herkommenden Blei- und Gummiröhren einmünden. Diese letzteren sind einzeln durch Hähne abschliessbar, sodass man die durch Compression von K entstehende Luftverdichtung nur nach der jedesmal auszulösenden Gabel hinleiten kann. Um ferner dasselbe Empfangstelephon für verschiedene Aufgabeapparate benutzen zu können und hierdurch Töne verschiedener Höhe zu erhalten, wird ein Commutator eingeschaltet, mit dessen Kurbel ein von dem Empfangstelephon kommender Draht verbunden ist, während zu seinen Contactstücken je ein Draht von dem Aufgabeapparat hinführt. Die zweiten Drähte der letzteren sind sämmtlich mit einem Leitungsdraht verbunden, welcher zur anderen Klemmschraube des Empfangstelephons hinführt.

Der beim Anschlag der Gabel im Empfangstelephon entstehende Ton kann in seiner Stärke durch Veränderung eines in Nebenschliessung befindlichen Rheostatenwiderstandes variirt werden, so dass sich eine Anordnung ergiebt, wie sie schematisch in Fig. 3 (Taf. III) dargestellt ist.

Um zu ermitteln, in welcher Weise die Schwankungen der im Empfangstelephon wirkenden Stromintensität von den eingeschalteten Rheostatenwiderständen abhängen, müssen wir auf die elektromagnetische Theorie des Telephons, wie sie von E. du Bois-Reymond, v. Helmholtz und Fr. Weber entwickelt ist, näher eingehen. Eine verhältnissmässig einfache Zusammenstellung der von den genannten Autoren gewonnenen Resultate findet sich in Wiedemann's „*Lehre von der Elektricität*“, 3. Aufl., Bd. IV, S. 288 ff. Aus derselben ist zu entnehmen, dass wenn sich Aufgabe- und Empfangstelephon in demselben Stromkreise befinden, eine Anordnung, die sich von der in Fig. 3 (Taf. III) gegebenen nur durch das Fehlen der Nebenschliessung unterscheidet, die elektromotorische Kraft in der Spule des Empfangstelephons durch folgende Gleichung gegeben ist:

$$E = JW_0 = \frac{dP}{dt} - Q_0 \frac{dJ}{dt} \quad \ldots\ldots \quad \text{(I)}$$

wo W_0 den Widerstand des ganzen Kreises, J die in demselben herrschende Stromintensität, P das Potential der magnetischen Massen des Aufgabetelephons auf den Kreis, Q_0 das Potential des Kreises auf sich selbst, t die Zeit bedeutet.

Das elektromagnetische Potential P schwankt um eine einfache periodische Function der Zeit und lässt sich daher schreiben

$$P = P_0 + A \sin 2\pi n t.$$

Der Gleichung (I) genügt als Werth von J

$$J = C_0 \sin (2\pi n t + \alpha),$$

wo die Amplitude der Stromschwankung

$$C_0 = \frac{A}{Q_0 \sqrt{1 + \left(\frac{W_0}{2\pi n Q_0}\right)^2}} \quad \text{. . . . . . . (II)}$$

Nach v. Helmholtz[1] ist bei den gebräuchlichen Telephonen $\frac{W_0}{Q_0}$ höchstens $= 40$, sodass bei einer Schwingungszahl $n = 128$

$$\left(\frac{W_0}{2\pi n Q_0}\right)^2 = 0{\cdot}002\,4737 = \text{circa } \frac{1}{400}$$

und bei grösseren Schwingungszahlen noch viel kleiner wird, daher gegen 1 zu vernachlässigen ist. Alsdann wird die Amplitude

$$C_0 = \frac{A}{Q_0} \quad \text{. . . . . (III)}$$

d. h. = dem Verhältniss der Amplitude der Schwankungen des magnetischen Potentials A zum Potential Q_0 des Kreises auf sich selbst.

Auf unsere in Fig. 3 (Taf. III) skizzirte Anordnung sind die eben angeführten Beziehungen nicht ohne Weiteres anwendbar. Die für dieselbe gültigen Gleichungen lassen sich indessen leicht in folgender Weise entwickeln. In Fig. 3 (Taf. III) können wir drei Theile der Stombahn unterscheiden:

1. die Spirale des Aufgabetelephons und ihre Verbindungsdrähte mit dem Rheostaten,

2. die Spirale des Empfangstelephons und ihre Verbindungsdrähte mit dem Rheostaten,

3. den Rheostaten.

Die diese Theile zur Zeit t durchfliessenden Ströme haben beziehungsweise die Intensitäten i_1, i_2, i_3; die Widerstände seien in 1 und 2 einander gleich und $= w$, der Rheostatenwiderstand $= w_3$, die Potentiale jeder der beiden Spiralen auf sich selbst seien $= Q$, die in 1 und 2 auftretenden elektromotorischen Kräfte beziehentlich E_1 und E_2.

Alsdann gelten nach den Kirchhoff'schen Gesetzen über Stromverzweigung und nach den Inductionsgesetzen folgende fünf Gleichungen:

[1] H. v. Helmholtz, Telephon und Klangfarbe. Wiedemann's *Annalen.* 1878. V. S. 452.

$$i_1 + i_2 - i_3 = 0 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (1)$$
$$i_1 w + i_3 w_3 = E_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (2)$$
$$i_2 w + i_3 w_3 = E_2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (3)$$
$$E_1 = \frac{dP}{dt} - \frac{Q\,di_1}{dt} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (4)$$
$$E_2 = -\frac{Q\,di_2}{dt} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (5)$$

P kann wie früher geschrieben werden

$$P = P_0 + A \sin 2\pi n t.$$

Aus den Gleichungen (1) bis (5) ergiebt sich ferner leicht:

$$(i_1 - i_2)\, w = \frac{dP}{dt} - Q\frac{d(i_1 - i_2)}{dt} \quad \ldots \ldots \ldots (6)$$

eine Gleichung, die für $(i_1 - i_2)$ genau dieselbe Lösung zulässt, wie sie aus Gleichung (I) für J gewonnen wurde, d. h. es ist

$$i_1 - i_2 = C' \sin (2\pi n t + \alpha) \quad \ldots \ldots \ldots (7)$$

wo

$$C' = \frac{A}{Q\sqrt{1 + \left(\frac{w}{2\pi n Q}\right)^2}} \quad \ldots \ldots \ldots (8)$$

Sodann folgt aus (1), (3) und (5):

$$i_1 w_3 + i_2 (w + w_3) = -Q\frac{d i_2}{dt}$$

und mit Rücksicht auf (7) erhalten wir:

$$Q\frac{d i_2}{dt} + i_2 (w + 2 w_3) = -C' w_3 \sin (2\pi n t + \alpha) \quad \ldots (9)$$

Der Gleichung (9) genügt

$$i_2 = C \sin (2\pi n t + \beta)$$

sobald

$$C = C' \frac{w_3}{2\pi n Q} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{w + 2 w_3}{2\pi n Q}\right)^2}}$$

oder

$$C = \frac{A w_3}{2\pi n Q^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{w + 2 w_3}{2\pi n Q}\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{w}{2\pi n Q}\right)^2\right]}} \quad \ldots (10)$$

Hier kann nach v. Helmholtz das Glied $\left(\frac{w}{2\pi n Q}\right)$ seiner Kleinheit wegen vernachlässigt werden. Legen wir für dasselbe unter Annahme einer niedrigen Schwingungszahl ($n = 128$) den vorhin berechneten Werth 0·002 4737 zu Grunde, so ergiebt sich, wenn wir den Rheostatenwiderstand w_3 bis zur Grenze w anwachsen lassen, dass der Ausdruck

$$\frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{w}{2\pi n Q}\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{w + 2 w_3}{2\pi n Q}\right)^2\right]}}$$

ebenfalls = 1 angenommen werden darf, wenn eine Vernachlässigung des Zehnfachen von 0·002 4737, also von etwa $^1/_{40}$, gegen 1 noch gestattet ist. Für die Zwecke der Hörprüfung ist dieses keinem Zweifel unterworfen, ja es würde sogar eine Steigerung des w_3 bis auf den doppelten Telephonwiderstand w noch erlaubt sein, wobei gegen 1 das 25 fache von 0·002 4737, d. h. etwa $^1/_{16}$, unberücksichtigt bliebe. Hieraus nämlich würde eine Ungenauigkeit von höchstens 3·07 $^0/_0$ des Amplitudenwerths sich ergeben; bei nur wenig höheren Stimmgabeltönen stellt sich bereits ein unvergleichlich günstigeres Verhältniss heraus.

Können wir nun aber in Gleichung (10) ohne grosse Ungenauigkeit den unter dem Wurzelzeichen befindlichen Ausdruck als constant gleich Eins annehmen, so ergiebt sich die resultirende Amplitude der im Empfangstelephon auftretenden Stromschwankungen

$$C = \text{const.}\, w_3.$$

Da nun die letztere nach dem oben Ausgeführten als Maass für die Schwingungsweite des Diaphragma betrachtet, ihr Quadrat also der Intensität des auf das zu untersuchende Ohr einwirkenden Tons proportional gesetzt werden kann, so ist die Bestimmung der Hörschärfe mit Hülfe meines Apparates eine ausserordentlich einfache. Die Hörschärfe steht nämlich in umgekehrtem Verhältniss zu dem Quadrat desjenigen Rheostatenwiderstandes, der in die Nebenschliessung einzuschalten ist, damit gerade die Schwellenempfindung für den betreffenden Ton zu Stande kommt.

Ueber zusammengesetzte Muskelzuckungen.

Von

Max von Frey.

(Aus dem physiologischen Institut zu Leipzig.)

Dem Versuche, die tetanische Bewegung im Muskel in ihre Bestandtheile aufzulösen, stellen sich mannigfaltige Schwierigkeiten entgegen, als deren vornehmste es anzusehen ist, dass in der Regel keines der veränderlichen Elemente, aus welchen der Vorgang entstanden gedacht werden muss, für sich allein und unabhängig von den anderen in Erscheinung tritt. In der Erfahrung, dass der Theil des Vorganges, welcher als Summation der Zuckungen bekannt ist, unter gewissen Bedingungen unterdrückt werden kann,[1] musste daher eine Aufforderung zu neuen Versuchen erblickt werden, weil sich erwarten liess, dass nach Ausschaltung dieser Componente die Zusammensetzung der Zuckungen sich wesentlich einfacher gestalten würde. Zugleich erschien es wünschenswerth, die Bedingungen, unter welchen jene Vereinfachung gelingt, genauer als es bisher geschehen war, kennen zu lernen, insbesondere zu untersuchen, welche Bedeutung dem zeitlichen Abstand der Reize hierbei zuzumessen ist.

Lässt man unter Versuchsbedingungen, welche den Muskel befähigen bei äusserst geringer Spannung seine Verkürzung aufzuzeichnen, zwei momentane Reize auf ihn einwirken, deren zeitlicher Abstand veränderlich, aber kleiner ist als die sogen. Zuckungsdauer, so erhält man zusammengesetzte oder Doppelzuckungen, welche von den bisher bekannten Formen verschiedentlich abweichen und daher im Folgenden genauer beschrieben werden sollen.

[1] Versuche zur Auflösung der tetanischen Muskelcurve. *Festschrift für C. Ludwig.* Leipzig 1887. S. 61. — *Dies Archiv,* 1887. S. 195.

Wie bei den früheren Versuchen über die Frage wurde auch hier die Auslösung der Reize von der bewegten Fläche bewirkt, auf welcher die Muskelzuckungen registrirt werden sollten. Zu dem Ende wurden auf die stählerne Welle einer Baltzar'schen Trommel zwei Contactdaumen aufgeklemmt, von welchen der eine feststand, der andere um die Welle als Achse gedreht werden konnte. Die Einstellung des beweglichen Daumens geschah durch eine feine Schraube und der Winkelabstand beider Daumen konnte an einem Maassstab mit Nonius bis auf halbe Grade abgelesen werden. Die Winkelgeschwindigkeit der Trommel war 64^0 in der Secunde. Ein Abstand der beiden Daumen von einem halben Grade entsprach also einem Reizintervall von nicht ganz 0·008 Secunde, die zugehörige Bogenlänge für den Trommelradius war $0 \cdot 7^{mm}$. Die Reize waren stets maximale Oeffnungsschläge. Nachdem durch Vorversuche festgestellt war, dass die Ergebnisse dieselben waren, mochten die beiden Reize gleichläufig oder gegenläufig sein, so wurden in der Folge nur gleichgerichtete Reize verwendet. Als Versuchsthiere dienten Frösche und Kröten. Die Muskeln wurden stets curarisirt; denn es kann nicht bezweifelt werden, dass durch Belassung der Nerven im Reizkreise dem Versuche neue Variabeln zuwachsen. Hrn. Charles J. Martin, Kings College, London, bin ich zu Dank verpflichtet für die Hülfe, die er mir bei einer Anzahl Versuche geleistet hat.

1. Verkürzungscurven.

Fig. 1 zeigt eine systematische Folge von Doppelzuckungen, herrührend von dem Gastrocnemius eines Frosches. Die Figur ist wie alle späteren von links nach rechts zu lesen. Der Versuch beginnt mit den untersten Zuckungen, also mit dem grössten Intervall, und schreitet nach oben zu immer kleineren Intervallen fort. Die Zahlen, welche zu den Abscissen geschrieben sind, bezeichnen den Abstand der beiden Reize in Bogengraden des Trommelumfanges:

$$1 = 1^0 = 1 \cdot 4^{mm} = 0 \cdot 016 \text{ Sec.}$$
$$2 = 2^0 = 2 \cdot 8^{mm} = 0 \cdot 032 \text{ Sec. u. s. f.}$$

Die Originalcurven sind photographisch auf das Doppelte vergrössert. Die Ordinaten der Figur stellen also das achtfache der wirklichen Verkürzungen dar, wenn man berücksichtigt, dass der Muskelhebel selbst schon die Bewegung in vierfacher Vergrösserung aufschrieb. Der Hebel wurde sehr leicht gemacht, er belastete den Muskel mit $0 \cdot 225^{gr}$; das Trägheitsmoment des Hebels wurde möglichst vermindert. Es ist bei solcher Anordnung kaum zu vermeiden, dass der Muskel bei der Zuckung schlenkert;

daher kommt die wellige Kräuselung der Curven, welche im Uebrigen als isotonische angesprochen werden müssen.

Richtet man die Aufmerksamkeit auf die Gipfelhöhen der zusammengesetzten Zuckungen, so lässt sich deren Abhängigkeit vom Reizintervall

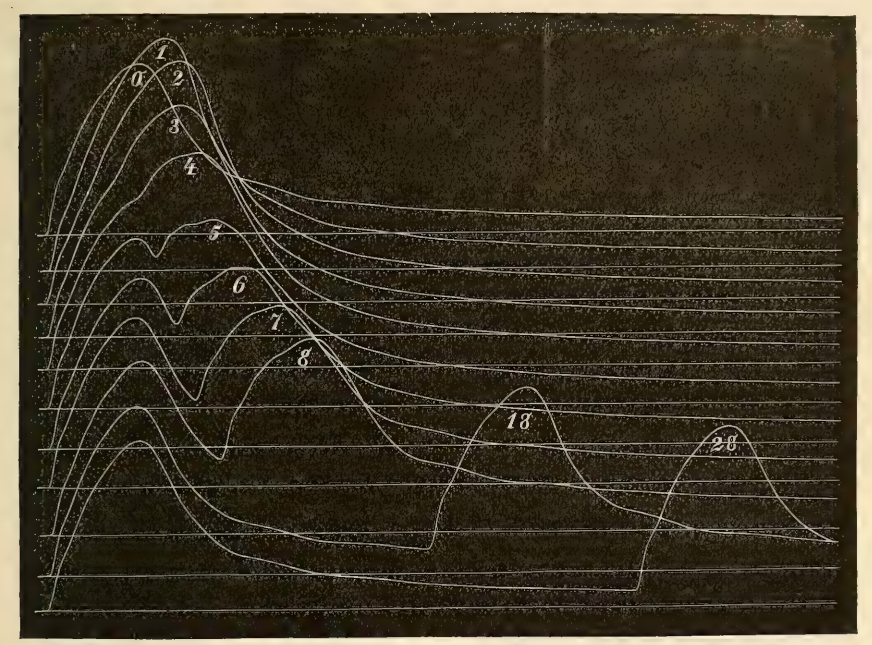


Fig. 1.
Verkürzungscurven eines Gastrocnemius. Der zweite Reiz folgt dem ersten in wechselndem Abstand. Zweifache Vergrösserung der Originaltafel.

und ihr Verhältnis zu den Gipfelhöhen der einfachen Zuckung übersichtlich darstellen durch die Curven der Fig. 2, welche ich als die abgeleiteten Curven bezeichnen will. Hier sind die Reizabstände (in Bogengraden) als Abscissen, die maximalen Verkürzungswerthe als Ordinaten aufgetragen und zwar stellt Curve I + II die Gipfelhöhen der zusammengesetzten Zuckungen dar. Hierbei ist zu beachten, dass jedesmal, wenn das Reizintervall grösser wird als die Dauer des Zuckungsanstieges (also grösser als 4 in Fig. 1) die zusammengetzte Curve zwei Gipfel besitzt, von welchen der erste gleich ist dem Gipfel der einfachen, von dem Reiz I ausgelösten Zuckung. In all diesen Fällen ist in die Curve I + II der Fig. 2 die Höhe des zweiten Gipfels, die des ersten dagegen in Curve I eingetragen. Die Curve u endlich giebt die Lage der Umkehrpunkte, d. h. derjenigen Stellen, in welchen die zusammengesetzte Zuckung unter einem deutlichen Knick die Spur der einfachen verlässt. Die Curve u giebt also eine ungefähre Vor-

stellung von der Höhe, in welcher der in Zuckung I begriffene Muskel von dem Reize II getroffen wird. Sie lässt erkennen, dass bei dem Reizabstand 4 der Reiz auf dem Gipfel der Zuckung I einsetzt, wie dies übrigens auch aus der Betrachtung der Fig. 1 ohne weiteres ersichtlich ist. Man bemerkt, dass in diesem Beispiele die zusammengesetzte Zuckung stets höher ist als die einfache, und dass die höchsten Gipfel erreicht werden, wenn der zweite Reiz in den Zuckungsanstieg fällt. Während dieser Periode ist die abgeleitete Curve concav zur Abscissenaxe, sie wird convex zu derselben und nähert sich ihr für alle grösseren Intervalle; der Wendepunkt entspricht dem Intervall 4.

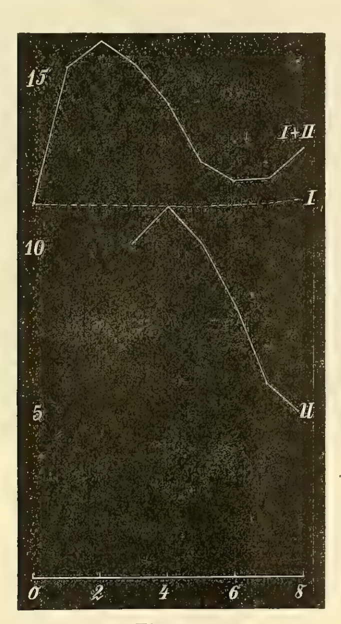


Fig. 2.
Curven, welche aus dem in Fig. 1 dargestellten Versuche abgeleitet sind (s. Text).

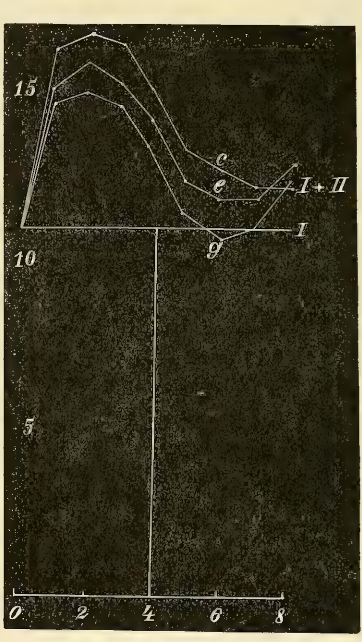


Fig. 3.
Weitere abgeleitete Curven desselben Muskels (2. III. 87).

Diese Form der abgeleiteten Curve I + II ist charakteristisch und findet sich bei allen frischen Muskeln wieder. Im Laufe des Versuches ändert sich zunächst ihre Lage in Bezug auf Curve I und später auch ihre Form, wie sofort gezeigt werden soll.

Von demselben Muskel, von welchem die Figg. 1 und 2 herrühren, wurden im Ganzen 12 solcher Zuckungreihen aufgeschrieben, welche mit den Buchstaben *a* bis *m* bezeichnet sein mögen; es wurde bald von den grossen Intervallen zu den kleinen, bald umgekehrt fortgeschritten. In Fig. 3 sind die zu den Reihen *c*, *e* und *g* gehörigen abgeleiteten Curven I + II

in ein gemeinschaftliches Coordinatensystem eingetragen. Die Gipfel der einfachen Zuckungen hielten sich mit geringen Abweichungen auf einer Höhe von 11 mm, welche durch einen horizontalen Strich angemerkt ist, während die ausgezogene Ordinate den zeitlichen Abstand des Gipfels von dem Reizmoment $t = o$ bemerklich macht. Ohne die Form wesentlich zu ändern, nähern sich die abgeleiteten Curven mehr und mehr der Abscissenaxe, in Reihe *g* soweit, dass für das Reizintervall 6 der Gipfel der zusammengesetzten Zuckung unter den der einfachen herabgeht. Fährt man mit dem Versuche fort bis der Muskel deutlich ermüdet, so zeigt sich ein neuer Wechsel, welcher durch Fig. 4 illustrirt wird. Dieselbe stammt von einem anderen Gastrocnemius, welcher im Ganzen 14 Reihen schrieb und stellt dar die abgeleiteten Curven I + II der Reihen *f*, *k* und *m*. Die Curven I sind weggelassen um die Figur nicht zu verwirren; aus dem Abstande der drei Curven von der Abcissenaxe für das Reizintervall *o* lässt sich übrigens die Höhe der Einzelzuckung und ihre zunehmende Ermüdung deutlich ablesen. Dieselbe wurde beschleunigt durch Tetani, welche zwischen die Zuckungsreihen eingeschoben wurden. Die Gipfel der einfachen Zuckungen liegen bei Intervall 4 bez. 5. Man bemerkt, dass neben der Verkleinerung sämmtlicher Ordinaten eine Abflachung der Krümmungen bis zum Verlust der charakteristischen Form eintritt, so dass schliesslich für fast alle Intervalle die zusammengesetzte Zuckung dieselbe, von der einfachen Zuckung nur wenig abweichende Gipfelhöhe aufweist.

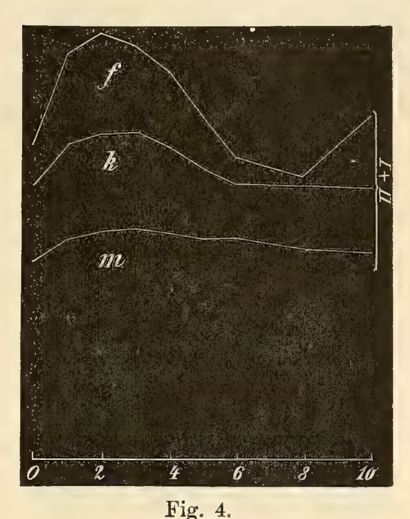


Fig. 4.
Abgeleitete Curven eines anderen Muskels (28. II. 87).

Es liegt nahe die Verflachung der Curve zu beziehen auf die geringe Geschwindigkeit, mit welcher im ermüdeten Muskel die Erregungswelle fortgeleitet wird. Ist diese Geschwindigkeit nicht verschwindend klein im Verhältniss zu dem Erregungsablauf an der einzelnen Muskelscheibe, so wird im Moment des zweiten Reizes jeder Querschnitt in einem anderen Zustand sich befinden. Die Verkürzungscurve, welche der Muskel verzeichnet, kann dann nicht mehr angesehen werden, als eine vergrösserte Darstellung der Vorgänge an der einzelnen Scheibe, sie wird vielmehr die Veränderung des Mittelwerthes der Verkürzung über sämmtliche Scheiben

zum Ausdruck bringen. Da ferner keine Erfahrung bekannt ist, welche zu der Annahme zwingt, dass bei der Ermüdung der Umfang der Contraction und die Geschwindigkeit der Fortpflanzung gleichzeitig und proportional abnehmen, so wird man in dem Verhalten verschiedener Muskeln eine grosse Mannigfaltigkeit erwarten müssen. Dass unter solchen Umständen für die Analyse der Bewegung grosse Schwierigkeiten entstehen und viele feinere Unterschiede überdeckt und verwischt werden müssen, braucht gar nicht weiter ausgeführt zu werden. Der Nachtheil, welcher dadurch für die graphische Methode entsteht, kann vermieden werden, wenn man statt der Verkürzung des ganzen Muskels die Verdickung einer oder doch nur weniger Scheiben aufschreiben lässt.

Es wurde daher in allen folgenden Versuchen der Muskel horizontal auf einen Korkstreifen gelegt und mit einem Stäbchen soweit zusammengeschoben, dass er bei der Zuckung sich nicht mehr verkürzte. Dies lässt sich am Gastrocnemius wegen seines festen Sehnengerüstes nicht gut ausführen, leicht aber am Gracilis, Semimembranosus oder Sartorius, welche Muskeln sich weiter noch dadurch empfehlen, dass sie entweder in ihrer ganzen Länge oder doch an einem ihrer Enden aus annähernd parallelen Fasern bestehen. Dieses Ende wurde dann zur Kathode beider Reize gemacht und wenige Millimeter von ihm entfernt ein Strohhalm derart über den Muskel gelegt, dass die Verdickung des berührten Querschnittes in vierfacher Vergrösserung auf der Trommel verzeichnet werden konnte. Der Hebel beschwerte den Muskel mit $0 \cdot 18^{grm}$; auf die genau quere Lagerung desselben muss besondere Sorgfalt verwendet werden.

2. Verdickungscurven.

Die Zusammensetzung der Zuckungen liefert im Grunde dieselben Bilder wie früher bei den Verkürzungen, wenigstens was den frischen Muskel betrifft. Fig. 5 stellt in übersichtlicher Weise die Wirkung der Doppelreize auf einen curarisirten Gracilis dar. Die Originaltafel wurde erst auf photographischem Wege vierfach linear vergrössert und hierauf die den Reizintervallen 2, 4, 6, 8 und 10 (0·03—0.16 Sec.) entsprechenden Verdickungscurven übereinander gezeichnet. Alle diese Curven verfolgen natürlich bis zum Eintreffen des zweiten Reizes die Spur der einfachen Curve; sie verlassen dann dieselbe und erheben sich zum Gipfel der zusammengesetzten Zuckung. Dieselbe ist wie früher am höchsten, wenn der zweite Reiz in das aufsteigende Stück der ersten Zuckung trifft; fällt er in den absteigenden Theil so wird sie niedriger als die einfache Zuckung; erst bei dem Reizintervall 10 sind die beiden Gipfel annähernd gleich hoch. So

deutlich wie hier ist die Depression am frischen Muskel nur ausnahmsweise zu finden. In der Regel sind zu Beginn des Versuches sämmtliche zusammengesetzte Zuckungen erhöht und erst später treten Depressionen auf.

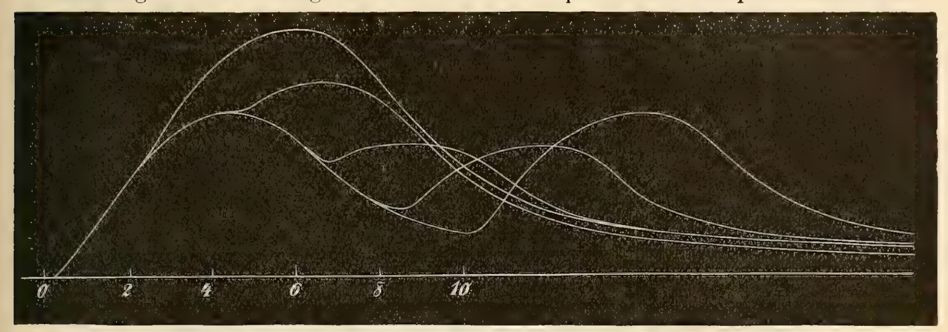


Fig. 5.
Zusammensetzung von Verdickungscurven eines Gracilis (24. V. 87) durch Doppelreize in wechselndem Abstand. Die Curven sind auf eine gemeinschaftliche Abscisse bezogen.

Als Beispiel diene Fig. 6, welche die Reihen *b* und *f* eines anderen Versuches (13. VII. 87) in abgeleiteten Curven darstellt. Hier bedeutet wie früher Curve I + II die Gipfelhöhen der zusammengesetzten Zuckungen für die an der Abscisse angeschriebenen Reizintervalle; Curve II die Gipfelhöhen der Zuckung II, welche stets 20 Sec. vor dem Doppelschlag geprüft wurde; endlich Curve A die Ausgangshöhen d. h. die Höhe, in welcher die Zuckung I von dem Reize II getroffen wird. Um die Punkte der letzten Curve zu erhalten wurde nach jedem Doppelschlag die Trommel nochmals langsam an den Contacten vorübergeführt und dadurch die Lage der Reizmomente festgestellt. Aus Fig. 7 (zweifach vergrösserte Copie einer Originaltafel) lassen sich die Einzelheiten des Verfahrens leicht erkennen. Die Gesammtheit der Punkte *a* in Fig. 6 giebt gleichzeitig eine Vorstellung von dem Verlauf der Zuckung I, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, dass jede Ordinate einer anderen Einzelzuckung entnommen ist.

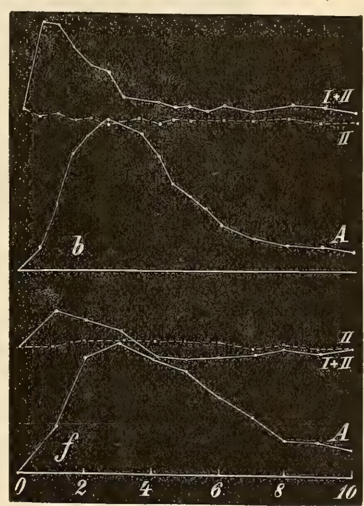


Fig. 6.
Zwei Versuchsreihen von einem Gracilis (13. VII. 87) dargestellt in abgeleiteten Curven. Verdickungen.

Aus Fig. 7 lässt sich sofort ablesen, dass in der Regel der Gipfel der zusammengesetzten Zuckung dem Gipfel der einfachen Zuckung II voraus-

eilt. Auf diese zeitliche Abweichung soll indessen erst weiter unten die Sprache kommen. Hier möchte ich fortfahren in der Schilderung der abnormen Gipfelhöhen zu deren Illustrirung ich in Fig. 8 noch die weiteren Ergebnisse des Versuches 21. VII. 87 in abgeleiteten Curven beifüge, darstellend die Zuckungsreihen *a*, *c*, *e* und *g* desselben Gracilis.

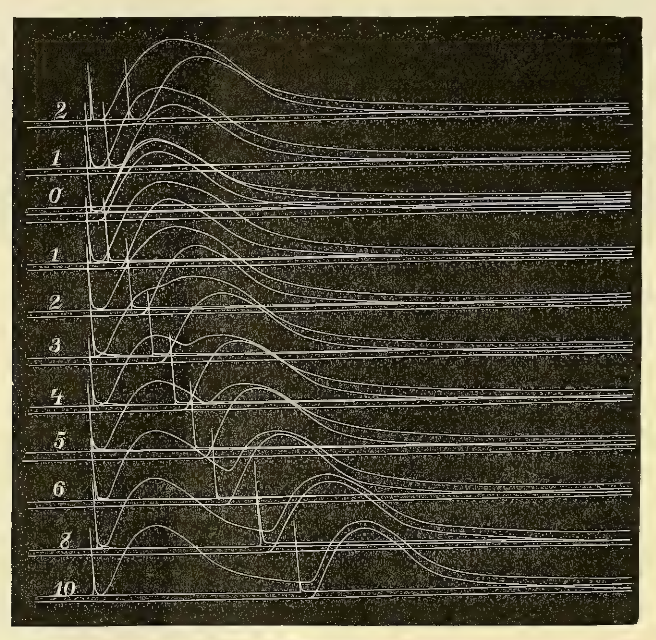


Fig. 7.
Verdickungscurven eines Gracilis (Versuchsreihe d vom 21. VII. 87). Der zweite Reiz folgt dem ersten in wechselndem Abstand. Zweifache Vergrösserung der Originaltafel.

Diese Versuche zeigen übereinstimmend folgendes:

Die Curve I + II nähert sich mit fortschreitender Ermüdung stetig der Abscissenaxe und zwar rascher als Curve II. Sie zerfällt daher bald in einen erhöhten oder übernormalen und in einen erniedrigten oder unter normalen Theil. Letzterer wächst beständig auf Kosten des ersteren, und erstreckt sich z. B. in der Reihe *g* Fig. 8 von dem Reizintervall $3 \cdot 5^0 = 0 \cdot 054$ Sec. bis über $50^0 = 0 \cdot 775$ Sec. also weit über die Zuckungsdauer hinaus. Nur die allerkleinsten Intervalle geben zusammengesetzte Zuckungen, deren Höhe die einfache Zuckung um ein Weniges übertrifft. Der erste Wendepunkt der abgeleiteten Curve wird dabei nicht merklich verschoben.

Die aufgezählten Versuchsergebnisse lehren zunächst, dass sich am ungespannten Muskel durch Doppelreize Verkürzungen erzielen lassen, welche

die Höhe der einfachen Zuckung übertreffen und daher als Summationen bezeichnet werden können. Man wird aber dann sagen müssen, dass die Summation hier nach ganz anderen Regeln verläuft als am belasteten Muskel und da sich ferner zeigen lässt, dass die übernormalen Höhen, die

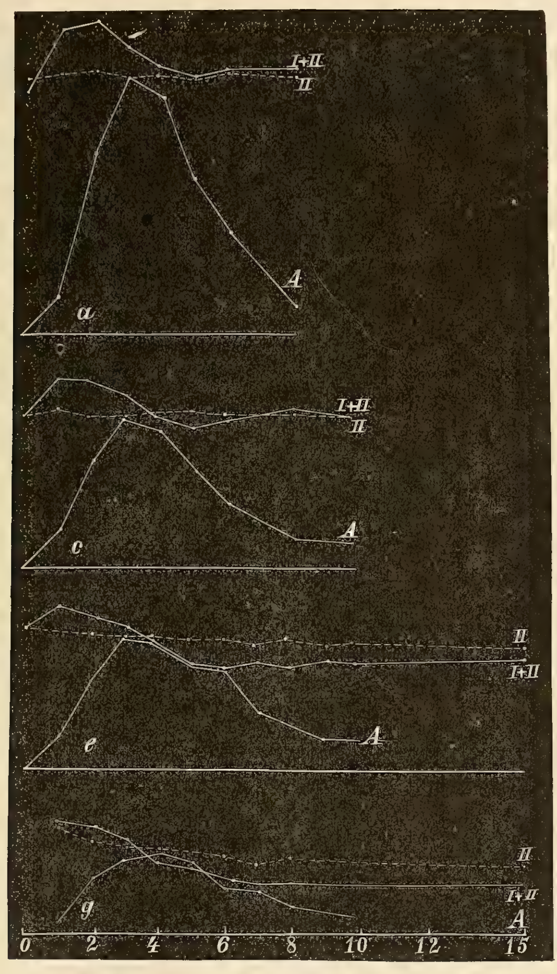


Fig. 8.

Vier Versuchsreihen desselben Gracilis (21. VII. 87) in abgeleiteten Curven.

der unbelastete Muskel ersteigt aus verschiedenen Stücken aufgebaut sein müssen, so bleibt nur die Wahl entweder verschiedene Arten von Summationen anzunehmen oder den Ausdruck zu beschränken auf eine ganz bestimmte Form der Zusammensetzung. Den letzteren Ausweg habe ich mir

erlaubt in Vorschlag zu bringen[1], indem ich als Summation nur jene Art der Uebereinanderlagerung der Zuckungen bezeichnete, welche den Vergleich mit der Unterstützung zulässt, weil für beide Erscheinungen die Regel von Helmholtz mit grosser Uebereinstimmung zutrifft.[2]

Ich habe demgemäss bei der Schilderung der vorliegenden Versuche den Ausdruck „Summation" ganz vermieden und nur von Zusammensetzungen gesprochen, um jeder Voraussetzung auszuweichen. Aus den Figg. 2—6 und 8 lässt sich eben ohne Weiteres entnehmen, dass es sich hier nicht allein um übernormale, sondern auch um unternormale Zuckungshöhen handelt und dass dieselben nicht in einfacher Weise abhängig sind von der Ausgangslage, sondern vielmehr von der Richtung, von welcher her der Muskel in dieselbe eintritt.

Ueberlegt man, durch welche Einflüsse die zweite Zuckung in ihrer Entwickelung bald gefördert, bald gehemmt werden kann, so wird man sich der Erfahrungen erinnern, welche durch das Studium der Zuckungsreihe und des Tetanus bisher gewonnen worden sind und welche nähere Bestimmungen enthalten über die Art, wie jede Muskelzuckung von der vorhergehenden abhängt. Es ist bekannt, dass unter Umständen die nachfolgende Zuckung gefördert wird, so dass sie höher wird als die vorausgegangene und zwar tritt die Zunahme auf in zwei verschiedenen Formen: als Contractur und als Treppe. Diese beiden Vorgänge haben nichts miteinander gemein, denn sie können unabhängig von einander auftreten und sie gehorchen, wie Bohr[3] gezeigt hat, verschiedenen Gesetzen. Ebenso sind zwei Aenderungen im Muskel bekannt, deren Wirkung unter anderem dahin geht, die nachfolgende Zuckung herabzudrücken; nämlich die Ermüdung und jenes Absinken der Zuckungshöhe, welches einzutreten pflegt, wenn das Reizintervall plötzlich verkleinert wird. Die Erscheinung ist auch unter dem Namen der Erholung, sowie als Einleitende Zuckungen[4] beschrieben worden.

Es lässt sich zunächst zeigen, dass die Treppe nur sehr wenig beitragen kann zu den Resultaten der vorliegenden Versuche. Die in regelmässigen Zeitabständen wiederkehrenden Prüfungen des zweiten Reizes für sich allein liessen die als Treppe beschriebene Zunahme der Zuckungshöhen jedesmal deutlich erkennen. So wuchs in dem Versuche 14. VI. a im Verlaufe von 42 Reizungen die Zuckungshöhe von 3·40 auf 3·70^{mm}, in dem Versuche 14. VI. b während ebensovieler Reizungen von 3·30 auf 3·85; in 20. VI. a

---

[1] *Dies Archiv,* 1887.
[2] In Betreff gewisser Ausnahmen siehe „*Versuche zur Auflösung*" u. s. w.
[3] *Dies Archiv,* 1882. S. 233.
[4] Buckmaster, *dies Archiv,* 1886. S. 462.

von 3·00 auf 3·60. Die Zunahme beträgt also pro Reiz im Mittel wenig mehr als ein Hundertel eines Millimeters. Die Höhen, um welche dagegen in den vorliegenden Versuchen die zusammengesetzte Zuckung die einfache übertreffen kann sind mehr als das Hundertfache dieses Werthes. Sie können demzufolge nicht aus der Erscheinung des treppenartigen Wachsthums der Zuckungen erklärt werden, man müsste dann annehmen wollen, dass bei den kleinen Reizintervallen, welche zur Zusammensetzung der Zuckungen nöthig sind, die Treppe entsprechend wirksamer werde. Dieser Erklärungsversuch kann aber widerlegt werden auf Grund von Vergleichen zwischen Zuckungstreppe und Tetanuscurve, welche ich bei einer anderen Gelegenheit ausgeführt habe[1] und welche ergaben, dass der Höhenzuwachs für den einzelnen Reiz in beiden Fällen ungefähr derselbe ist. Z. B.

		Zuwachs in Millimetern.	
		Zuckungsreihe.	Tetanus.
Versuch 76.	10.—20. Reiz	0·95	1·07
	20.—30. Reiz	0·80	0·78
Versuch 80.	10.—20. Reiz	0·95	0·78
	20.—30. Reiz	0·51	0·34

Dasselbe Resultat ergiebt die Vergleichung von Tetanis verschiedener Frequenz, aber gleicher Reizstärke, welche sich unter Benutzung der Versuchsdaten von Bohr ausführen lässt. Man findet, dass die Höhenzunahme der Curve für die Einheit des Reizes (nicht der Zeit!) nicht wächst, wenn das Intervall abnimmt.

Genau so wie sich zeigen lässt, dass die Erhebung der zusammengesetzten Curve über die einfache nicht als eine Wirkung der Treppe angesehen werden kann, so lässt sich der Beweis erbringen, dass die eigenthümlichen Hemmungen, welche bei gewissen Reizintervallen bemerklich werden, nicht als Ermüdungserscheinung gelten können. Der Ermüdungsabfall der Einzelzuckungen liess sich in den vorliegenden Versuchen ebenfalls stets deutlich verfolgen. Er betrug z. B. im Versuch 21. VII. g 0·95 ^{mm} in 48 Zuckungen oder im Mittel 0·02 ^{mm} pro Reiz. Dass diese Höhendifferenz der Ermüdungsreihe, wie Kronecker[2] sie nennt, nicht grösser wird, wenn man zu tetanischen Reizfrequenzen übergeht, lehrt der folgende Versuch. Ein mit 6 ^{grm} gespannter Muskel schrieb zuerst eine Zuckungsreihe von 1·6 Sec. Reizintervall und hierauf einen Tetanus von 0·1 Sec. Reizintervall. Letzteres ist das Intervall, bei welchem ich in der Regel die grössten Depressionen gefunden habe. Der einzelne Reiz hatte in beiden

[1] *Versuche* u. s. w. S. 62.

[2] *Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig.* 1871. S. 204.

Fällen gleiche Stärke. Der Ermüdungsabfall der (fünffach vergrösserten) Zuckungen (Verkürzungen) betrug über eine Strecke von 250 Reizungen im Mittel = 0·04 ^{mm} pro Reiz; der Abfall der tetanischen Curve innerhalb einer Strecke, die 250 Reizen entsprach, nach Abzug der Contractur, im Mittel 0·035 ^{mm} pro Reiz. Die Differenz des Ermüdungsreihe pro Reiz ist sogar im Tetanus noch etwas kleiner als in der Zuckungsreihe, was unseren Vorstellungen über den Stoffverbrauch im Tetanus nicht widerspricht.

Die Ermüdung wird also, wenn sie sich überhaupt bemerklich macht, wohl eine Differenz zu Ungunsten der zusammengesetzten Zuckung hervorrufen können, aber niemals eine so beträchtliche Hemmung der zweiten Zuckung, wie sie thatsächlich beobachtet wird.

Es bleibt somit nur noch zu betrachten, inwieweit die Contractur und die sog. einleitenden Zuckungen an der Erscheinung betheiligt sein mögen. Ich habe schon früher gezeigt, dass am unbelasteten Muskel die Zuckungsgipfel durch die Contractur emporgetrieben werden können, unter gleichzeitiger Hebung der Ausgangslage.[1] Man wird es daher auch in den vorliegenden Versuchen als Contractur auffassen müssen, wenn eine erste Zuckungscurve nur sehr träge gegen die Abscissenaxe zurückkehrt und eine zweite nachfolgende Zuckung, von einem gleichstarken Reiz ausgelöst, einen Zuwachs zur Gipfelhöhe bemerken lässt.

Wenn ferner der Zuwachs, den die zweite Zuckung für ein gegebenes Reizintervall erfährt, im Laufe des Versuches stetig abnimmt, wie ich dies an einer Anzahl von Beispielen der vorliegenden Abhandlung zeigen konnte, so steht dies im Einklang mit der wohlbekannten Erfahrung, dass die Contractur am frischen Muskel am stärksten ausgebildet zu sein pflegt. Da es endlich als sichergestellt betrachtet werden kann, dass sich die Contractur bei tetanischer Reizung weit stärker entwickelt, als in der Zuckungsreihe, also die Annahme berechtigt ist, dass die Erscheinung innerhalb gewisser Grenzen um so deutlicher auftritt, je kleiner das Intervall wird, so liesse sich verstehen, warum die zusammengesetzten Zuckungen im Allgemeinen mit der Annäherung der beiden Reize wachsen. Freilich ist die Erhebung der zusammengesetzten Zuckung für die günstigsten Reizintervalle so bedeutend (50 % und mehr der einfachen Zuckung), dass es Bedenken erregt, ihre Erklärung aus der Contractur allein unternehmen zu wollen. Dass sie jedoch an der Erscheinung betheiligt ist, wird nach den angestellten Erörterungen zugegeben werden müssen.

Aehnliches lässt sich aussagen, von den sogen. einleitenden Zuckungen, welche die Anpassung oder Einstellung der Muskelarbeit auf ein be-

---

[1] *Dies Archiv*, 1887.

stimmtes Reizintervall bedeuten, wofür ich an anderen Orten Beispiele gegeben habe. Die Zuckungshöhe, die durch einen Reiz ausgelöst werden kann ist eben, abgesehen von allen anderen Variationen, abhängig von dem zeitlichen Abstand der vorausgegangenen Reize und zwar nimmt sie mit demselben zu. Es ist von Wichtigkeit, dass der eben ausgesprochene Satz auch für das Herz gilt. Gaskell[1] äussert sich darüber folgendermaassen: It must always be borne in mind, that the force of the contraction of the cardiac muscle, ... varies inversely as the rate of the contractions up to of course a certain limit. The normal rate of heart beat .... is quicker than the rate at which the maximum contractions would be produced. In consequence, any slowing of the rhythm will necessarily of itself produce contractions of greater strength than the normal, and any increase of rate will diminish the force of the contractions in due proportion.

Den Vorgang als Erholung zu bezeichnen kann nicht zweckmässig genannt werden. Eine Erholung setzt nach dem Sprachgebrauch eine Ermüdung voraus; dieselbe ist aber gar nicht nothwendig um die Erscheinung hervorzurufen. Sie lässt sich beobachten am Skeletmuskel während dessen Zuckungen treppenartig wachsen und ebenso an dem unermüdet fortschlagenden Herzen.

In den vorliegenden Versuchen ist ein Wechsel der Ruhepausen dadurch gegeben, dass auf die Einzelreizungen in Abständen von 20 Sec. die Doppelschläge mit wechselndem, aber stets viel kürzerem Intervalle folgten. Entsprechend der raschen Folge der Reize ist ein Absinken der zweiten Zuckung zu erwarten, welche um so deutlicher in die Erscheinung treten wird, je weniger sie durch die entgegengesetzte Wirkung der Contractur verdeckt wird. Mit dem Zurückgehen der Contractur im Laufe des Versuches wird die Anpassung an das Reizintervall immer stärker hervortreten. Besonders deutlich zeigt sich dies in Versuch Fig. 8, dessen abgeleitete Curve I + II schliesslich für alle Reizintervalle, welche grösser sind als 0·05 Sec., unter die Höhe der einfachen Curve herabsinkt.

Somit wären in der Contractur und in der Anpassung der Muskelleistung an das Reizinterall zwei Ursachen gefunden, welche bald eine Erhöhung, bald eine Erniedrigung der zusammengesetzten Zuckung bewirken werden und zwar viel ausgiebiger, als dies durch Treppe und Ermüdung geschehen könnte. Trotzdem kann mit guten Gründen bezweifelt werden, dass sie genügen, um die gegenwärtigen Versuchsresultate zu erklären.

Auf der einen Seite findet man am frischen Muskel, bei stark entwickelter Contractur, tiefe, selbst unter das Niveau der einfachen Zuckung

---

[1] *The Journal of Physiology.* Vol. IV. p. 89.

herabgehende Depressionen, wenn der zweite Reiz im absteigenden Theil der Zuckung I einfällt (Fig. 2, 3 u. 4); auf der anderen Seite treten bei den kleineren Intervallen Erhebungen selbst dann noch ein, wenn der Muskel auf's Aeusserste erschöpft und die Contractur bis auf Spuren verschwunden ist. Warum hier niemals Depressionen auftreten, warum die Zusammensetzung der Zuckungen stets den grössten Erfolg giebt, wenn der zweite Reiz zusammenfällt mit dem Wendepunkt der isotonischen Muskelcurve und stets den kleinsten, wenn der Reiz II zusammenfällt mit dem zweiten Wendepunkt, d. h. mit jenen Zeiten, in welchen die verkürzenden und lösenden Kräfte die rascheste Entwickelung zeigen — das liesse sich nur verstehen auf Grund besonderer Annahmen über die Erscheinungsweise der Contractur, sowie des Anpassungsvermögens für verschiedene Reizintervalle, Annahmen, durch welche die Abhängigkeit dieser beiden Variablen von dem Zuckungsablauf im Muskel näher bestimmt würde. Die Frage, ob es sich aber nur um eine eigenthümliche Form der Abhängigkeit und nicht vielmehr um die Einführung neuer Variablen handelt, muss vorläufig offen bleiben. Es lässt sich vorstellen, dass die durch zwei Reize hervorgerufenen Antriebe zur Umformung im Muskel sich in jedem Augenblicke algebraïsch summiren, so dass die Beschleunigung der normalen Bewegung bald positiv, bald negativ werden kann. Dies würde ein Vorgang sein, welcher mit der Interferenz von Wellenzügen eine gewisse Aehnlichkeit besitzt und welcher daher als eine Interferenz der Zuckungen (nicht der Reize) bezeichnet werden könnte. Eine Entscheidung kann jedenfalls erst durch weitere Versuche, namentlich durch ein genaueres Studium der Contractur erzielt werden.

Die hier beschriebenen Erscheinungen sind früheren Untersuchern nicht ganz entgangen. Doch verfügte man bisher über kein Verfahren, um sie als regelmässige Vorkommnisse zu erhalten. Nach Sewall[1] ergiebt für gleiche Ausgangslagen die Summation im aufsteigenden Theil der Zuckung stets grössere Verkürzungen, als die Summation im absteigenden Theil. Dasselbe finden Kronecker und Hall[2] und sie bemerken, dass zuweilen bei der Summirung im absteigenden Theil „von höheren Ausgangspunkten kleinere Zuckungsmaxima erreicht werden, als von niedrigeren; es kann sogar die Maximalhöhe der summirten Zuckung kleiner bleiben, als die Maximalhöhe einfacher Zuckung“ (S. 24). Der letztere Fall tritt namentlich bei Ermüdung auf (S. 33). Nun habe ich gezeigt,[3] dass eine Hebung der Ausgangslage den Zuckungsgipfel des belasteten Muskels um so weniger emportreibt, je stärker

[1] *The Journal of Physiology.* Vol. II. p. 164.
[2] *Dies Archiv,* 1879. Suppl.-Bd. S. 26.
[3] *Versuche* u. s. w. S. 59.

die Ermüdung ist. Der ermüdete belastete Muskel verhält sich in dieser Hinsicht ähnlich wie der unbelastete Muskel, so dass eine Uebereinstimmung der Summationserscheinungen verständlich wird.

III. Der zeitliche Verlauf der zusammengesetzten Zuckung.

Die Messung der maximalen Verkürzungswerthe giebt noch keine ausreichende Vorstellung von den Erscheinungen, welche bei Doppelreizen auftreten, weil auch der zeitliche Verlauf der zusammengesetzten Zuckung von dem normalen abweicht, wie bereits oben erwähnt wurde. Die Aenderungen des Verkürzungswerthes und der Verkürzungsgeschwindigkeit hängen aber zweifellos innig zusammen und es geschieht nur der besseren Uebersicht wegen, wenn die letzteren erst hier zur Sprache kommen.

Bei isotonischen Verkürzungen, wie sie in den vorliegenden Versuchen ausschliesslich zur Darstellung kamen, lässt sich die Geschwindigkeit, mit welcher die Zuckung verläuft, nicht durch die sog. Zuckungsdauer messen, weil es bisher an einem Mittel fehlt, diesen Werth zuverlässig zu bestimmen. Zur Beurtheilung des zeitlichen Verhaltens können nur in Betracht kommen die Abstände gewisser ausgezeichneter Punkte der Curve von dem Reizmomente. Im Folgenden werden ausschliesslich die Zeiten zwischen Reiz und Zuckungsgipfel verglichen und als Anstiegsdauer bezeichnet werden.

Diese Zeit ändert sich bekanntlich bei der einfachen Muskelzuckung mit der Ermüdung; die Zunahme geschieht indessen so allmählich, dass sie von einem Reiz zum anderen kaum merklich ist, so lange das Reizintervall constant bleibt. Wird dasselbe geändert, so ändert sich auch die Anstiegsdauer und zwar wird sie grösser bei Verkürzung des Intervalls (vorausgesetzt, dass keine Zusammensetzung der Zuckungen stattfindet) und umgekehrt. Diese Veränderung ist ebenso wie die Anpassung der Zuckungshöhe an das Reizintervall am deutlichsten, wenn der Muskel schon erheblich ermüdet ist. Als Beispiel mögen einige Werthe aus Versuch 28. II dienen.

Reihe h:

Intervall	Dauer des Zuckungs-Anstieges
20·0 Sec.	6·0 mm des Trommel-Umfanges
0·25 „	6·4
20·0 „	6·0
0·45 „	6·7
20·0 „	6·2
1·40 „	6·3

Reihe k:

Intervall	Dauer des Zuckungs-Anstieges
20·0 Sec.	7·6 mm
0.25 „	8·0
20·0 „	7·3
0·45 „	8·1
20·0 „	7·3
1.40 „	8·0

Die Wirkung in dem erwarteten Sinne ist hier am deutlichsten bei dem Intervall von etwa $^1/_2$ Sec. Bei $1^1/_2$ Sec. lässt sie nach, während anderseits bei dem Intervall von $^1/_4$ Sec. die Zuckungen sich bereits so nahe rücken, dass neue Einflüsse wirken, welche sofort besprochen werden sollen.

Die Streckung der Anstiegsdauer in Folge der Ermüdung und ebenso in Folge einer Verkleinerung des Reizintervalls findet sich auch bei den Verdickungscurven, aber in geringerem Grade. Ich will hier nur erwähnen, dass eine Verlängerung des Anstieges um 30 Procent der unermüdeten Zuckung nur selten überschritten, zuweilen nicht einmal erreicht wird, während bei den Verkürzungscurven die Anstiegszeit auf das Doppelte ihres ursprünglichen Werthes gedehnt werden kann. Wäre es bei der Aufschreibung der Verdickungscurven möglich, den Schreibhebel genau quer über die Fasern zu brücken oder die Verdickung nur einer Scheibe zu verzeichnen, so würde die Differenz voraussichtlich noch grösser werden.

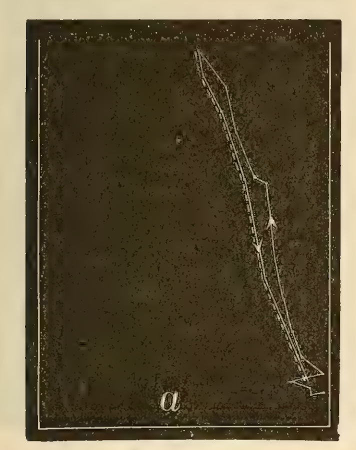
Im Grunde kann diese Beobachtung nicht Wunder nehmen, da ja erwiesen ist, dass die Strekung der Verkürzungscurve bei der Ermüdung mindestens zu einem Theile beruht auf der verlangsamten Fortpflanzung der Erregung entlang der Faser. Wie gross der Antheil ist, welcher entfällt auf den verlangsamten Ablauf der Umformung innerhalb einer Muskelscheibe, lässt sich gegenwärtig nicht sagen. Aus den obigen Angaben wird es nur wahrscheinlich, dass die beiden Veränderungen nicht proportional stattfinden. Es möge hier daran erinnert werden, dass Lee[1] die den beiden ableitenden Elektroden entsprechenden Componenten der elektrischen Erregungswelle zwar deutlich gegen einander sich verschieben sah, eine Streckung der einzelnen Componente in Folge der Ermüdung aber nicht nachweisen konnte.

Wird das Reizintervall so klein, dass die Zuckungen deutlich verschmelzen, so wird die Anstiegszeit verkürzt, der Gipfel der zusammengesetzten Zuckung erscheint verfrüht gegen den einer einfachen. Auf

[1] *Dies Archiv*, 1887. S. 214.

diese Verfrühungen der unterstützten sowohl wie der summirten Zuckung hat v. Kries[1] zuerst hingewiesen. Dass sie sich auch hier noch findet, wo bei mangelnder Spannung eine Summation der Verkürzungswerthe im Sinne von Helmholtz nicht mehr stattfindet, beweist, dass diese beiden Aenderungen nicht nothwendig zusammengehören.

Die Messung der Anstiegszeiten einfacher sowohl wie zusammengesetzter Zuckungen bei allen Versuchen mit Muskelverdickung haben nun stets die kleinsten Werthe dann ergeben, wenn der zweite Reiz auf dem Gipfel der Zuckung I einfiel. Umgekehrt sind für sehr kleine Ausgangs-



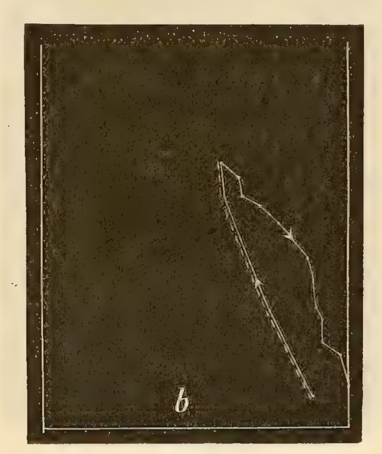



Fig. 9 a. Fig. 9 b.

Curven, welche die Abhängigkeit der Dauer des Zuckungsanstieges von der Ausgangs lage darstellen. Aus zwei Versuchsreihen an einem Gracilis (11. VII. 87). Verdickungen.

höhen die Anstiegszeiten nicht merklich von den normalen verschieden. Dieselben müssen somit als eine Function der Ausgangslage betrachtet werden. Die Form der Abhängigkeit wird sich am besten aus der graphischen Darstellung der Messungen entnehmen lassen von welchen in Figg. 9 und 10 Beispiele aus den Versuchen 11. VII und 21. VII ausgewählt sind. In denselben sind die Anstiegszeiten als Abscissen, die zugehörigen Ausgangslagen als Ordinaten eingetragen, unter zehnfacher Vergrösserung aller Maasse der Originaltafeln. Jedes Millimeter der Abscisse entspricht dann ziemlich genau 0·001 Secunde. Von den beiden Ordinaten, welche in den Endpunkten jeder Abscissenlinie errichtet sind, bedeutet die linke stets den Eintritt des Reizes II. In Folge des vorausgegangenen Reizes I

[1] *Dies Archiv*, 1880. S. 370; — *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B.* 1886. Bd. II. Hft. 2.

befindet sich der Muskel in diesem Momente bald in der Ruhelage, welche durch die Abscissenlinie dargestellt wird, bald in verschiedenen Höhen über

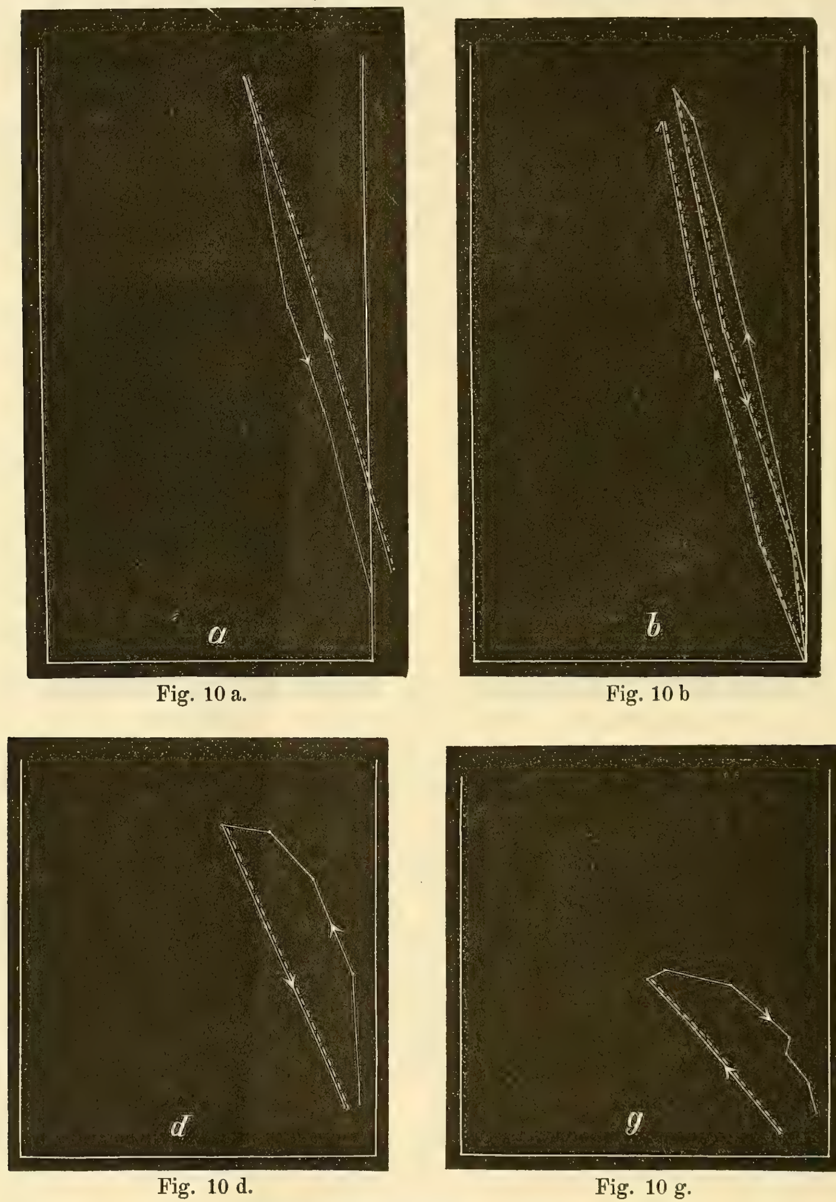


Fig. 10 a. Fig. 10 b

Fig. 10 d. Fig. 10 g.

Curven derselben Art wie Fig. 9. Gracilis (21. VII. 87)

derselben, welche sämmtlich in der linken Ordinate zu suchen sind. Würden nun diese verschiedenen Ausgangslagen auf die Dauer des Zuckungs-

anstieges keinen Einfluss haben, so müssten sämmtliche zusammengesetzten Zuckungsgipfel in der rechten Ordinate zusammenfallen, welche um die normale Anstiegsdauer von der linken entfernt ist. Thatsächlich sind sie alle dem Reizmomente näher gerückt, also verfrüht und die verkürzte Anstiegsdauer ist von der zugehörigen Ausgangslage aus nach rechts, parallel zur Abscisse aufgetragen. So war z. B. in Fig. 9 a der maximale Verkürzungswerth der (einfachen) Zuckung I = 49 ^{mm}. Der auf dem Gipfel einfallende Reiz II brachte ein neues Ansteigen zu einem (um 4·5 ^{mm}) höher liegenden Gipfel hervor, welcher aber nicht in der normalen Zeit von 0·038 Sec., sondern schon nach 0·021 Sec. erreicht wurde: Verfrühung = 0·017 Sec. = 44·7 $^0/_0$. Für alle Zusammensetzungen im aufsteigenden Theil der Zuckung hat die Curve der Verfrühungen eine Begleitlinie. Die Reihenfolge der Reizungen ist durch Pfeile gekennzeichnet.

Aus den hier reproducirten Curven ergeben sich, ebenso wie aus allen übrigen, folgende Sätze:

1. Die Verfrühung ist am grössten, wenn Reiz II auf dem Gipfel der Zuckung I einsetzt; die Anstiegszeit beträgt dann 60—70 $^0/_0$ der normalen. Im Laufe des Versuches wird das Verhältniss noch kleiner, so dass eine Anstiegszeit, welche nur die Hälfte des normalen beträgt, am ermüdeten Muskel nicht selten ist.

2. Am frischen Muskel ist die Verfrühung eine annähernd lineare Function des Verkürzungswerthes, auf welchem der in Zuckung I begriffene Muskel von dem Reize II getroffen wird. Diese Function ist unabhängig vom Reizintervall, denn die Verfrühung ist nahezu identisch für je zwei gleiche Verkürzungswerthe, von welchen der eine im aufsteigenden, der andere im absteigenden Theile der Zuckung I sich befindet. Berücksichtigt man jedoch, dass die Zusammensetzungen im absteigenden Theile stets geringere Verkürzungswerthe ergeben, so ist bei gleicher Anstiegszeit die mittlere Verkürzungsgeschwindigkeit im letzteren Falle kleiner. Z. B. aus Fig. 9 a:

Ausgangslage 32 ^{mm}.

α. Zusammensetzung im aufsteigenden Theil.

Gipfelhöhe der zusammengesetzten Zuckung = 61 ^{mm}

Anstiegsdauer . . . . = 0·027 Sec.

Mittlere Verkürzungsgeschwindigkeit $= \frac{61 - 32}{0{\cdot}027} = 1074 \frac{\text{Mm.}}{\text{Sec.}}$

β. Zusammensetzung im absteigenden Theil.

Gipfelhöhe der zusammengesetzten Zuckung = 43·5 ^{mm}

Anstiegsdauer . . . . = 0·0285 Sec.

Mittlere Verkürzungsgeschwindigkeit $= \frac{43{\cdot}5 - 32}{0{\cdot}0285} = 403 \frac{\text{Mm.}}{\text{Sec.}}$

3. Am ermüdeten Muskel behält die Curve für alle Zusammensetzungen im aufsteigenden Theil ihren gradlinigen Verlauf bei. Dagegen wird für die Zusammensetzungen im absteigenden Theil die Verfrühung relativ geringer, zuweilen sogar absolut, so zwar, dass (für gleiche Ausgangslagen) die Gipfel, wenn auch noch immer früher als normal, so doch später eintreten als zu Beginn des Versuchs. Der betreffende Schenkel der Curve verläuft dann nicht mehr gradlinig, sondern mit einer nach rechts (gegen die normale Anstiegszeit) gerichteten Convexität, da für sehr niedrige Ausgangslagen auch die Verfrühungen verschwinden. Vgl. Fig. 9 b, Fig. 10 d u. g. Es ist gewiss bedeutungsvoll, dass diese relative Verzögerung genau zusammenfällt mit der Depression der Zuckungsgipfel unter die normale Höhe, wodurch ungewöhnlich kleine mittlere Verkürzungsgeschwindigkeiten entstehen, z. B. Fig. 10 g.

Ausgangslage 15·5 mm.

Gipfel der zusammengesetzen Zuckung . = 17·0 mm

Anstiegsdauer . . . . = 0·0435 Sec.

$$\text{Mittlere Verkürzungsgeschwindigkeit } \frac{17\cdot 0 - 15\cdot 5}{0\cdot 0435} = 34 \frac{\text{Mm.}}{\text{Sec.}}$$

Dagegen:

Gipfel der einfachen Zuckung . . . . = 24·5 mm

Anstiegsdauer . . . . = 0·0485 Sec.

$$\text{Mittlere Verkürzungsgeschwindigkeit } \frac{24\cdot 5}{9\cdot 0485} = 505 \frac{\text{Mm.}}{\text{Sec.}}$$

Von einem Verständniss der verwickelten Erscheinungen kann gegenwärtig nur in sehr beschränktem Maasse die Rede sein. Da der ungespannte Muskel, wenn er auf dem Gipfel einer Zuckung von einem zweiten Reiz getroffen wird, sich nur wenig mehr contrahiren kann, so ist begreiflich, dass die neue viel geringfügigere Umformung auch in kürzerer Zeit ausgeführt werden kann. Wird dagegen z. B. durch die Contractur der zweite Gipfel noch weiter gehoben, so wäre für diesen grösseren Weg ein gewisser Zeitverlust zu erwarten und es wäre zu verstehen, warum zu Beginn der Versuche, wo immer Contracturen in grösserem oder geringerem Betrage vorhanden sind, die Verfrühungen nicht so ansehnlich ausfallen wie später. Wenn endlich am ermüdeten Muskel die Anstiegszeiten wieder zunehmen für alle Zusammensetzungen im absteigenden Theil der Zuckung und damit eine bedeutende Verzögerung des Verkürzungsvorganges einhergeht, so kann darin eine weitere Stütze erblickt werden für die Ansicht, dass der zweite Reiz den Process der Erschlaffung nicht einfach unterbricht, sondern dass nun zwei einander entgegengesetzte Antriebe in Wettstreit

kommen, in welchem allerdings, soweit die Erfahrung reicht, die verkürzenden Kräfte stets den Sieg gewinnen, aber doch auch nicht voll zur Geltung kommen können. Darin würde ein neuer Beweis liegen, dass die Erschlaffung des Muskels mehr sein muss, als die lediglich von äusseren Kräften abhängige Zurückführung in die Ruhelage. In der That lehrt die Betrachtung des absteigenden Astes der isotonischen Zuckungslinie, welche durchaus keine Fallcurve ist, dass die jeweilige Länge des erschlaffenden Muskels durch Vorgänge in seinem Inneren in gesetzmässiger Weise bestimmt wird, so dass er allen Einwirkungen, welche ihm eine andere Länge zuweisen wollen, Widerstand entgegenzusetzen vermag. Das Verhalten des auf Quecksilber liegenden Muskels kann nicht als Gegenbeweis angeführt werden. Wie die Aufschreibung der Verdickungscurven lehrt findet in einem Muskel, welcher seine Länge bei der Reizung nicht ändert, noch immer ein Wechsel der Form statt, indem er seinen elliptischen, von oben nach unten flach gedrückten Querschnitt umgestaltet in einen mehr kreisförmigen.

Es liegt nahe, die Hemmung, welche die Zuckung des Skeletmuskels durch eine unmittelbar vorausgehende erfahren kann, in Beziehung zu setzen mit jener Stumpfheit gegen Reize, welche nach Bowditch,[1] Marey,[2] Dastre,[3] Hildebrand und Lovén[4] das Froschherz in gewissen Perioden seiner Thätigkeit zeigt. Der Vergleich stösst allerdings auf Schwierigkeiten, welche zum Theil beruhen auf dem abweichenden (nicht isotonischen) Verfahren die Bewegungen des Herzens aufzuschreiben. Namentlich muss aber der Umstand, dass das Herz auch nervöse Apparate enthält zur Vorsicht mahnen, welche durch den grossen Einfluss den die Wahl der Reizstellen hat (Lovén) genügend begründet erscheint. Immerhin wird man die für die Kammer sowohl, wie für den Vorhof geltende Erfahrung, dass jeder künstliche, in die regelmässige Schlagfolge des Herzens hereinbrechende Reiz entweder einfach ausgelöscht wird oder doch keinen vollen Erfolg giebt, nicht mehr als eine ausschliesslich nervöse Erscheinung auffassen dürfen. Dieselbe als verminderte Erregbarkeit zu beschreiben würde dann wenig zutreffend sein, weil am curarisirten Skeletmuskel die Hemmungen auch beobachtet werden, wenn die Reize über die maximale Stärke wachsen. Nun wird allerdings angegeben, dass sich die Stumpfheit des Herzmuskels durch Steigerung der Reize überwinden lässt. Man kann aber fragen, ob dies nicht gleichbedeutend ist mit der Ausbreitung der

---

[1] *Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig.* 1871. S. 149.
[2] *Travaux du Laboratoire.* II. 1876.
[3] *Recherches sur les lois de l'activité du Coeur.* Paris, Baillière 1872.
[4] *Mittheilungen vom physiologischen Laboratorium zu Stockholm.* 1886. Hft. 4.

Reize auf gewisse bevorzugte Stellen des Organs, welche, wie Lovén gezeigt hat, zu jeder Zeit überzählige Contractionen auszulösen im Stande sind.

Die zusammengesetzten Zuckungen, zu welchen der ungespannte Skeletmuskel durch zwei rasch sich folgende gleiche Reize veranlasst wird, sind sowohl ihrem Umfange als ihrem zeitlichen Ablaufe nach, von vier, wahrscheinlich aber von fünf verschiedenen Vorgängen im Inneren des Muskels abhängig, welche je nach der Jahreszeit, der vorausgegangenen Arbeitsleistung des Muskels und dem Reizintervall den Erfolg in wechselnder Weise bestimmen. Wird der Muskel irgend beträchtlichen Spannungen ausgesetzt, so dass seine Ruhelänge die natürliche mehr oder weniger übertrifft, so gesellen sich noch die Erscheinungen der gegenseitigen Unterstützung oder der Summation der Zuckungen hinzu, durch welche die Verkürzung wiederum sowohl dem Betrage als der zeitlichen Entwickelung nach beeinflusst wird. Es ist daher nicht verwunderlich, dass für die Ergebnisse der Summationsversuche eine feste Regel bisher nicht aufgestellt werden konnte.

Der Einfluss des Luftdruckes auf die Circulation.

Von

Dr. G. v. Liebig.

(Hierzu Taf. IV u. V.)

Ein Einfluss des Luftdruckes auf die Circulation wurde zuerst unter vermindertem Luftdrucke von Saussure beobachtet, als er bei Gelegenheit seiner Besteigung des Mont Blanc 1787 auf dem Gipfel des Berges Pulszählungen vornahm. Er fand dort in der Ruhe eine bedeutende Vermehrung der Pulsfrequenz, und ähnliche Erfahrungen, die später Gay-Lussac und nach ihm noch andere im Luftballon machten, reihten sich im gleichen Sinne an. In der neueren Zeit ist die Beobachtung Saussure's von ärztlichen Forschern, Lortet, Calberla, Mermod in wissenschaftlicher Weise wiederholt und bestätigt worden, wobei die Mittheilungen der beiden erstgenannten eine Zunahme der Beschleunigung mit der Höhe erkennen lassen.

Dieser Pulsbeschleunigung steht unter dem erhöhten Luftdrucke eine Abnahme der Frequenz gegenüber, welche den Aerzten in der raschen Beruhigung und oft starken Herabsetzung des Pulses in der pneumatischen Kammer, bei Kranken und geschwächten Personen zuerst auffiel. Auch in den eisernen Luftschachten, in welchen bei Wasserbauten die Luft verdichtet wird, um das Wasser zu verdrängen, wurde sie beobachtet. Pol[1] fand unter einem Drucke von 2·45 Atmosphaeren an sich selbst eine Verlangsamung von seiner gewöhnlichen Frequenz, von 70, auf 55 Schläge, und bei Herstellung des gewöhnlichen Luftdruckes nahm die Frequenz wieder zu. Pol giebt die Beobachtungen, welche er an sich machte, als

---

[1] Mémoire sur les effets de la compression de l'air par MM. B. Pol, Ex-chirurgien etc., et T. J. J. Watelle, Dr. en Médecine etc. *Annales d'hygiène publique et de médecine legale.* 1854. I. p. 246 et 247.

Beispiel, um die physiologischen Veränderungen zu schildern, wie sie in der Regel unter dem erhöhten Luftdruck der Schachte gefunden wurden, und er stellt also die Herabsetzung des Pulses als ein gewöhnliches Vorkommen hin, welches er mit der gleichzeitig auftretenden starken Abnahme im Umfange und der Frequenz der Athembewegungen in Verbindung bringt. Dr. Foley [1] fand an sich und einem Collegen, unter dem Drucke von nahezu 3 Atmosphaeren die Pulsfrequenz um 8—10 Schläge geringer als vorher unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. Er bemerkte auch, dass unter dem erhöhten Luftdrucke der Puls fadenförmig wurde, also an Umfang abnahm, und dass er unter sehr hohem Drucke oft fast unfühlbar war. Ausserdem beobachtete er das Schwinden von Gefässentwickelung am Augapfel und die rasche Abnahme von Schnupfen und Angina, Thatsachen, welche auch in den pneumatischen Kammern bestätigt werden konnten.

In wissenschaftlicher Weise wurden Beobachtungen über den Puls von v. Vivenot [2] in der pneumatischen Kammer zu Johannisberg 1864 angestellt, indem er Sorge trug, alle zufälligen Umstände auszuschliessen, welche die Pulsfrequenz beeinflussen können. v. Vivenot beobachtete im Ganzen in 86 zweistündigen Sitzungen, von denen ich diejenigen auswähle, welche unter dem gleichen äusseren Verhalten genommen worden waren. Es sind 11 von 8 bis 10 Uhr Morgens, zwischen dem 26. Mai und 14. Juni, 14 von 9·30 bis 11·30, zwischen dem 5. April und 29. Mai, 14 von 10·30 bis 12·30 zwischen dem 24. Juni und 28. Juli, sodann 13 um dieselbe Stunde, im Juli, welchen nach dem Frühstück ein Spaziergang, oft mit Steigen verbunden, von $^1/_2$ bis 1 Stunde vorhergegangen war. Gleich nach dem Spaziergange war die Frequenz im Mittel 83·8.

Die Pulsfrequenz, welche Morgens vor dem Aufstehen am geringsten ist, nimmt bekanntlich unmittelbar nach dem Frühstücke rasch zu und beginnt $^1/_2$ bis 1 Stunde darauf wieder zu fallen, was sich bis zum Mittagsmahle fortsetzt. Wenn also in der pneumatischen Kammer in den Morgenstunden die Pulsfrequenz abnimmt, so ist immer ein Theil der Abnahme auf die Tagesstunden zu rechnen.

Nach Lichtenfels und Fröhlich [3] erreicht der Puls nach dem um $7^1/_2$ eingenommenen Frühstück um $8^1/_2$ Morgens ein Maximum, sinkt dann nur wenig bis $9^1/_2$, darauf aber sehr rasch bis $10^1/_2$. Nun tritt wieder ein sehr langsames Sinken ein, welches sich zwischen $11^1/_2$ und $12^1/_2$ noch etwas verstärkt. In Uebereinstimmung mit diesen Beobachtungen

---

[1] Foley, *Du travail dans l'air comprimé.* Paris 1863.

[2] v. Vivenot, *Zur Kenntniss der physiologischen Wirkungen der verdichteten Luft,* Erlangen 1868, und in Virchow's *Archiv.* Bd. XXXIV.

[3] K. Vierordt, *Grundriss der Physiologie des Menschen.* Tübingen 1861. S. 544.

fand Vierordt ebenfalls die stärkste Abnahme zwischen $9^1/_2$ und $10^1/_2$, worauf die Frequenz nur noch langsam weiter abnahm.

v. Vivenot's Puls zählte Morgens vor dem Aufstehen im Bette durchschnittlich 65 (53 Beobachtungen), nach dem Aufstehen, noch nüchtern, 74 (12 Beobachtungen) und nahm nach dem Frühstück in normaler Weise zu. Für die Sitzung um 8 Uhr hatte er um $7^1/_2$ Uhr gefrühstückt, das Maximum der Pulsfrequenz hätte also um 8 oder $8^1/_2$ Uhr eintreten müssen, und wir werden daher nicht zu wenig rechnen, wenn wir die normale Abnahme bei ihm so gross annehmen, als sie vom Maximum ausgehend nach Lichtenfels und Fröhlich gewesen sein würde.

Stellen wir für die oben bezeichneten Stunden die Abnahme der Pulsfrequenz nach Lichtenfels und Fröhlich und nach K. Vierordt zusammen, so erhalten wir für die Sitzungen folgende normale Grössen der Abnahme in der Zahl der Pulsschläge in der Minute.

	Lichtenfels und Fröhlich.	Vierordt
Vom Maximum bis 9·30 . . .	0·9	
Von 9·30 bis 10	2·0	
Abnahme von 8 bis 10	2·9	
Von 9·30 bis 10·30	3·8	3·2
Von 10·30 bis 11·30	0·5	1·0
Abnahme von 9·30 bis 11·30 . .	4·3	4·2
Von 10·30 bis 11·30	0.5	1·0
Von 11·30 bis 12·30	2·5	0·4
Abnahme von 10·30 bis 11·30 .	3·0	1·4

v. Vivenot zählte seinen Puls viermal bei jeder Sitzung, immer zwei Minuten lang, nämlich *a.*, nach Beobachtung der nöthigen Ruhe unmittelbar vor dem Beginn der Sitzung, *b.*, 20 Minuten später bei Erreichung der bleibenden Höhe des Ueberdruckes von 32 ^{cm} Quecksilber, *c.*, nachdem dieser Druck eine Stunde lang angehalten hatte, *d.*, zwei Stunden später, nachdem eben der normale Luftdruck wieder hergestellt war, und ohne den Sitz in der Kammer zu verlassen.

Ich lasse jetzt die mittleren Ergebnisse v. Vivenot's auf die Minute berechnet folgen, die Zahlen bedeuten die Pulsfrequenzen.

Anfang, Stunde.	*a.* vorher.	*b.* 20 Min. später.	*c.* 1 St. 20 Min. später.	*d.* nachher.
8 Uhr	85·1	81·5	77·5	75·7
9·30	83·3	78·7	73·6	72·0
10·30	78·5	75·7	72·0	72·7
10·30 Spaz.	77·0	72·6	71·9	70·9

Die Abnahmen im Laufe der Sitzungen waren folgende:

Sitzungen, Stunde:	8	9·30	10·30	10·30 Spaz.
a—b	3·6	4·6	2·8	4·4
b—c	4·0	5·1	3·7	0·7
c—d	1·8	1·6	—0·7	1·0
a—d	9·4	11·3	*a—c* 6·5	6·1
normal nach L. u. F.:	2·9	4·3	Bis 11·50 1·5	3·0
Unter Mitwirkung des Luftdruckes:	6·5	7·0	5·0	3·1

In den drei ersten Spalten der Abnahmen erkennt man am Maassstabe des Sinkens den Einfluss der Tagesstunden. Sodann finden wir überall in den ersten 20 Minuten bis zur Erreichung der bleibenden Druckhöhe eine verhältnissmässig grosse Abnahme (*a—b*), wenn man sie mit derjenigen der folgenden Stunde (*b—c*) vergleicht. Diese (*a—b*) ist vielleicht zum Theil noch etwas der vorausgehenden Bewegung des Verfassers, um nach dem Zimmer zu gelangen, wo die Sitzungen stattfanden und der Veränderung vom Stehen zum Sitzen zuzuschreiben, da sich der Einfluss dieser Veränderungen auf die Herabsetzung der Pulsfrequenz nicht augenblicklich entwickelt. Die geringe Abnahme im letzten Gliede der Reihe *b—c* und die ebenfalls geringe in den Gliedern der Reihe *c—d* sowie die Zunahme um 0·7 in ihrem vorletzten Gliede, machen es wahrscheinlich, dass der Luftdruck die der Tagesstunde entsprechende Pulsfrequenz nicht weiter beschränkt, sobald diese eine bestimmte Herabsetzung erfahren hat, und dass das Sinken des Luftdruckes wieder eine Erhebung der Pulsfrequenz begünstigt. Damit stimmen auch 14 Sitzungen (eine vom 13. Juni lasse ich aus, weil sie durch einen Zufall gestört war) überein, deren Ergebnisse an einem gesunden Herrn R. von 35 Jahren v. Vivenot mittheilt. Die Sitzungen begannen um 8 Uhr und ihre Zählungen

a	*b*	*c*	*d*
61·1	56·6	55·2	56·2

zeigen ebenfalls eine Zunahme der Frequenz unter *d*, während kürzere Beobachtungsreihen mit anderen Personen noch eine geringe Abnahme bei *d* darbieten. Im Mittel aller Beobachtungen aber, die v. Vivenot an sich und Anderen machte, sind die Ergebnisse für *c* und *d* fast genau die gleichen, 67·9 und 67·7.

Die wenigen Beobachtungen, welche v. Vivenot $^1/_2$—1 Stunde nach der Sitzung, vor Tisch, genommen hatte, ergaben ein Wiederansteigen der Pulsfrequenz.

v. Vivenot legt Werth auf eine Anzahl von Pulszählungen, für welche er, um jede fremde Einwirkung auf den Puls möglichst auszuschliessen,

die Sitzungen um 8 Uhr Morgens vor dem Frühstück nahm, welches später eingenommen wurde, und für die er auch die Waschungen des Morgens unterliess.

Für das normale Verhalten des Pulses unter diesen Umständen, in sitzender Stellung, fehlt uns ein Maassstab, obgleich nach Lichtenfels und Fröhlich's Angaben ein Sinken der Frequenz zweifellos angenommen werden muss. Bei v. Vivenot scheint der Puls bei nüchternem Magen sehr erregbar gewesen zu sein, denn ich finde unter den 12 Sitzungen zwischen dem 13. Mai und dem 13. Juni 6, in welchen eine oder mehrere der Zählungen nach Beginn der Sitzung eine erhöhte Frequenz gezeigt hatten. Für zwei dieser Sitzungen war die Ursache der Erregung bekannt, für die übrigen nicht.

Bei den vorigen Zusammenstellungen wurden Unregelmässigkeiten dieser Art nicht berücksichtigt, hier glaube ich die grösseren in vier Sitzungen ausscheiden zu sollen. Die übrigen acht Sitzungen ergaben

a	*b*	*c*	*d*
74·2	70·7	70·2	69·1

eine Abnahme von im Ganze 5·1 Pulsen, wovon der grösste Theil mit 3·5 Pulsen schon in den ersten 20 Minuten stattfand.

Aus seinen sämmtlichen Beobachtungen konnte v. Vivenot den Schluss ziehen, dass die Herabsetzung der Pulsfrequenz unter dem erhöhten Luftdrucke um so stärker sei, je höher diese sich im Beginn der Einwirkung des Luftdruckes über ihrem Tagesmittel befunden hatte.

Auch v. Vivenot konnte unter dem erhöhten Luftdrucke das von Foley und anderen schon beobachtete Erblassen und Verschwinden stärker angefüllter Gefässe bei Gefässentwickelung am Augapfel von neuem bestätigen und ebenso die Veränderung im Umfange der Art. radialis.

Um zu einer Erklärung der Pulsverlangsamung zu gelangen, bei welcher er eine Verlangsamung des Blutstromes stillschweigend voraussetzte, nahm v. Vivenot an verschiedenen Personen, gesunden und leidenden, in den Sitzungen in der pneumatischen Kammer eine Reihe von Pulscurven auf, und diese zeigten unter und nach der einstündigen Wirkung des gleichmässig erhöhten Druckes in der Regel flachere Formen, als unter dem ansteigenden Luftdrucke. Dies schien seine Annahme zu bestätigen, dass die Pulsverlangsamung ein „einfacher mechanischer Effekt der Druckverstärkung“ sei, welche „durch Vermehrung des auf der Körperoberfläche, sowie auf den peripheren Gefässen lastenden Druckes, das Volumen und Lumen derselben verkleinert.“[1] Er erklärte die Wirkung auf die Gefässe

[1] *Zur Kenntniss* u. s. w. S. 352, 353.

näher als eine Zusammenziehung derselben, wodurch die Herzaction verlangsamt werde.

Als ich später, im Jahre 1879, selbst anfing Beobachtungen über den Puls zu machen, hegte ich keinen Zweifel an dieser Deutung und hoffte die Ergebnisse v. Vivenot's einfach bestätigen zu können. Ich machte eine grosse Anzahl von Pulsaufnahmen an verschiedenen Personen, sowohl unter dem erhöhten als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke, und wenn hier und da die unter dem höheren Drucke erhaltenen Curven mit denen v. Vivenot's übereinzustimmen schienen, so widersprachen doch zu anderen Zeiten ganz entgegengesetzte Formen, welche ich unter gleichen Umständen an denselben Personen erhielt, dieser Deutung.

Erst eine länger festgesetzte Untersuchung über die Bildung und das Auftreten verschiedener Formen der Pulscurven überzeugten mich, dass bei einer und derselben Person, im Laufe einer fortgesetzten Beobachtung, im Normalzustande die verschiedensten Formen kurz hintereinander auftreten können. Dasselbe wird nun auch unter dem erhöhten Luftdrucke beobachtet, und wenn ich längere Reihen verglich, so zeigte sich gar kein bleibender Unterschied zwischen den unter dem gewöhnlichen und dem erhöhten Luftdrucke erhaltenen Pulscurven.

Die Abweichung dieses Ergebnisses ist erklärlich, wenn man v. Vivenot's Curven mit solchen vergleicht, welche man mit neueren, leichter anzupassenden Instrumenten erhält. Er hatte einen früheren Marey'schen Apparat benutzt, dessen Federdruck offenbar so stark gewesen war, dass die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen Formen nicht, oder nur undeutlich hervortraten, und er hatte deshalb nur unterdrückte Formen erhalten. Ich selbst benutzte den Sommerbrodt'schen Apparat, bei welchem die Pelotte nicht durch die Kraft einer Feder, sondern durch aufgelegte Gewichte an die Arterie angedrückt wird, die man nach wenigen Versuchen der verschiedenen Kraft des Herzstosses bei verschiedenen Menschen leicht anpassen kann. Dabei treten nun alle Formen deutlicher hervor, und man kann ihre Entstehungsweise leicht erkennen.

Nachdem ich mit der gewöhnlichen Art der Pulsaufnahme kein Ergebniss erhalten hatte, wurde ich durch die Pulscurven eines Emphysematikers darauf aufmerksam, dass in diesen sich jede Stufe eines gewöhnlichen Athemzuges immer durch eine besondere Form der Curven auszeichnete. Dies liess mich vermuthen, dass eine Veränderung im Pulse durch den Luftdruck bei tiefen Athemzügen vielleicht deutlicher hervortreten würde, als bei dem gewöhnlichen ruhigen und wenig ausgiebigen Athmen.

Auch dabei aber konnte die Schwierigkeit des normalen häufigen Formenwechsels noch irre führen.

Der Zufall fügte es jedoch, dass ich damals (Juni 1879) die Pulscurve eines jungen Mannes Hrn. W. von 22 Jahren aufnahm, dessen Puls niemals Formen einer stärkeren Zusammenziehung der Arterie zeigte, was bei schlaffen zarten Geweben, auch bei phthisischem Habitus beobachtet wird. Er hatte einen proportionirten, aber schwachen Knochenbau, eine durchsichtige zarte Haut und einen schwachen Herzschlag, so dass man die normale Pulsform[1] erst erhielt, nachdem die Belastung des Pulshebels, welche gewöhnlich 150 bis 200^{grm} beträgt, auf 30^{grm} erniedrigt worden war. Die gewöhnliche Belastung gab bei ihm nur unterdrückte Formen, ein Umstand, der auf sehr schwache, nachgiebige Arterienwände schliessen liess, welche die Wirkung äusserer Einflüsse leicht wiedergeben würden, während der Mangel der Contraction einen störenden Formenwechsel ausschloss.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen hatte sich auch bei diesem Herrn keine Verschiedenheit in den Pulsaufnahmen erkennen lassen. Nachdem er aber auf das tiefe Athmenholen eingeübt war, zeigten sich in drei aufeinanderfolgenden Sitzungen am 5., 7. und 8. Juni deutliche Unterschiede der Curven, welche während des zunehmenden Luftdruckes, von den Curven, welche während des abnehmenden Luftdruckes genommen waren und auch dieser beiden von den Curven, die man unter dem gewöhnlichen oder unter dem bleibend erhöhten Luftdrucke erhalten hatte.

Während die Curven des gewöhnlichen und des gleichbleibend erhöhten Luftdruckes sich in Form und Grösse nur wenig von einander unterschieden, waren die unter dem Ansteigen des Luftdruckes erhaltenen Curven durchschnittlich höher, die unter dem Fallen des Druckes erhaltenen Curven niedriger, als die Curven unter dem bleibend erhöhten und unter dem gewöhnlichen Luftdrucke.

Auch in v. Vivenot's Curven erkennt man, wenn man sie genauer vergleicht, dass die am meisten abgeflachten immer unter dem fallenden Luftdrucke, die grössten unter dem ansteigenden Drucke erhalten worden waren.

Es wurden in den drei Sitzungen sehr viele Curven aufgenommen, von welchen ich aus jeder Sitzung und für jede Stufe des Luftdruckes eine unter denjenigen Aufnahmen zur Abbildung auswähle, welche die grössten Curven besitzen, für die Sitzung des 7. Juni, in welcher der Puls von Anfang an am ruhigsten war, wähle ich je zwei Aufnahmen. Diese sind in Tafel IV und V zusammengestellt.

---

[1] „Die Pulscurve". *Dies Archiv*, 1882; und „Weitere Untersuchungen über die Pulscurve". *Ebenda*, Supplementband 1883.

Unmittelbar vor der Sitzung des 5. Juni hatte Hr. W. einen kleinen Spaziergang gemacht, weshalb der Puls im Anfang der Sitzung etwas beschleunigt war, 96, gegen Ende wurde er 86.

Am 7. Juni war er vorher nicht gegangen, der Puls war im Anfange 86, gegen Ende 82.

Am 8. Juni vorher ruhig, gut geathmet, Puls 92—94, zuletzt 84.

Bei einer zweiten Versuchsperson, einem jungen Manne von 17 Jahren, der einen kräftigeren Puls hatte als Hr. W. (Belastung 100) bekam ich kein deutliches Ergebniss; er konnte auch weniger gut athmen.

Anders bei einer Dame von etwa 40 Jahren, mit kräftigem Herzen und normaler Beschaffenheit der Arterien, Belastung 200. Wenn ich hier, um vergleichbare Formen zu erhalten, alle von der normalen Form abweichenden Aufnahmen ausschied, waren die Unterschiede, wenn auch nicht in der schlagenden Ausbildung, wie im ersten Falle, doch kenntlich ausgeprägt; die Curven waren unter dem zunehmenden Luftdrucke durchschnittlich höher, im abnehmenden durchschnittlich niedriger als unter dem gewöhnlichen oder bleibend erhöhten Drucke.

Wir hätten also neben der Verlangsamung des Pulses nun auch noch die Veränderungen in der Grösse der Curven bei der Zu- und Abnahme des Luftdruckes in's Auge zu fassen. Um die verminderte Pulsfrequenz auf mechanischem Wege zu erklären, hatte v. Vivenot eine durch den Luftdruck veranlasste Zusammenziehung der Arterien angenommen, welche ich aber durch meine Beobachtungen ausschliessen konnte. Auch einer Verkleinerung des Umfanges der Arterien durch den Druck oder der Annahme einer verstärkten Reibung standen theoretische Bedenken entgegen.

Trotzdem werden wir durch die Grössenveränderung der Pulscurven, mit welchen in diesem Punkte die von v. Vivenot erhaltenen Curven übereinstimmen, von neuem auf eine Wirkung des zunehmenden Druckes hingewiesen, welche sich bei dem abnehmenden in ihr Gegentheil umkehrt. Erwägen wir die Umstände, welche am Pulse, ebenso wie am elastischen Rohre, die Curven vergrössern, ohne eine wesentliche Veränderung in der Form zu bewirken, so finden wir solche erstens in einer geringen Vermehrung der Blutmenge und entsprechender Verstärkung der Kraft eines Herzstosses, zweitens in einer Verengung des Abflussweges.[1]

Von diesen beiden Möglichkeiten ist hauptsächlich die zweite in's Auge zu fassen, obgleich auch für die erste, wie wir sehen werden, eine gewisse Wahrscheinlichkeit vorliegt. Einer Verengung des Abflussweges durch den zunehmenden Druck würde eine Erweiterung desselben unter abnehmendem

---

[1] Siehe *dies Archiv,* Supplementband 1883. Taf. IV, Figg. 84, 86, 87.

Drucke gegenüberstehen, was die Verkleinerung der Form unter dem abnehmenden Drucke erklären würde.

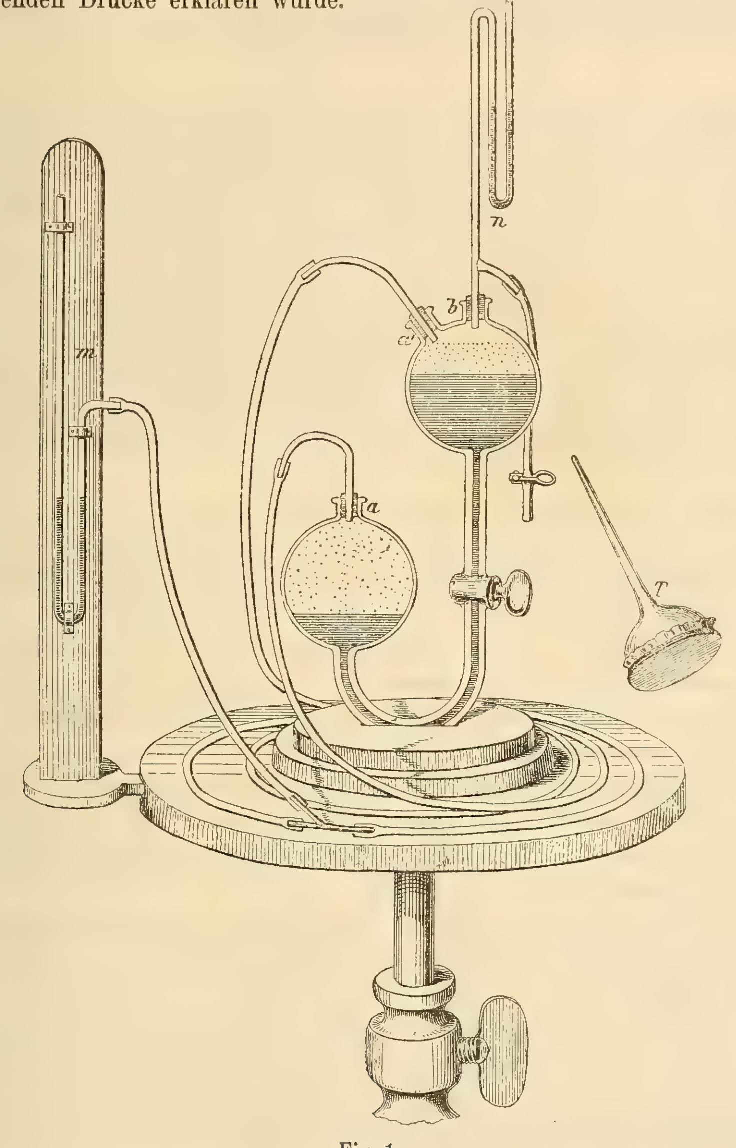


Fig. 1.

Um in diesen Fragen auf den richtigen Weg zu gelangen, war es vor Allem nothwendig, einen sachlichen Anhaltspunkt zu gewinnen, der die mechanischen Verhältnisse zwischen Circulation und Luftdruck verständlich machen konnte.

Ich versuchte dies auf mechanischem Wege, indem ich den Luftdruck auf ein künstliches Circulationssystem einwirken liess und construirte zu diesem Zweck den vorstehend abgebildeten Apparat (Fig. 1).

Beschreibung des Apparates. Es sind zwei hohle Glaskugeln von je etwa 250 ccm Inhalt, von welchen die eine etwas tiefer und seitlich von der anderen steht, und welche durch ein senkrechtes, unten umgebogenes dickes Glasrohr von 4 mm lichter Weite an ihren unteren Polen verbunden sind. Durch die Art der Biegung des Rohres wird es möglich, dass eine aus der oberen Kugel herabsinkende Flüssigkeit (Quecksilber) in die untere Kugel ebenfalls wieder von unten eintritt. Während die obere Kugel zu etwa drei Viertheilen ihres Inhaltes mit Quecksilber gefüllt ist, enthält die untere Wasser, und die Verbindung zwischen beiden kann durch Oeffnung eines Hahnes hergestellt werden. Das Quecksilber füllt in der Ruhe, bei geschlossenem Hahne, das Glasrohr auch unterhalb des Hahnes bis zu dessen Einmündung in die untere Kugel.

Die oberen Theile der beiden Kugeln sind durch ein Kautschukrohr von mehreren Metern Länge und 3 mm im lichten Durchmesser verbunden, dessen beide Enden vermittelst Kautschukstöpseln und Glasröhrchen von $3^1/_2$ mm Weite in die Hälse a und a' der Kugeln eingefügt sind.

Auf der unteren Kugel sitzt dieser Hals central, auf der oberen seitlich vom oberen Pole. An diesem Pole selbst ist ein zweiter Hals b angebracht, der entweder offen bleibt, oder verschlossen werden kann.

Wenn bei dem Versuche, nach Oeffnung des Hahnes, das Quecksilber in die untere Kugel eintritt, verdrängt es das in dieser befindliche Wasser, welches durch das Kautschukrohr austretend, sich in die obere Kugel ergiesst, wo es den Raum einnimmt, welcher durch das Abfliessen des Quecksilbers frei geworden ist.

Man erhält auf diese Weise eine Circulation, die mit abnehmender Geschwindigkeit so lange anhält, als das Quecksilber fliesst, oder als der Hahn geöffnet bleibt.

Um den Druck der circulirenden Flüssigkeit auf die Wandung des Rohres zu messen, konnte ein Manometer vermittelst eines T förmigen Glasröhrchens an zwei Stellen in das Circulationsrohr eingefügt werden; von diesem befand sich die eine 1 m vom Anfang, die andere 1 m vom Ende des in der Regel 6 m langen Rohres.

Venenschlauch. Während das runde Kautschukrohr mit einem arteriellen Rohre zu vergleichen war, konnte ihm noch ein besonderes Stück angefügt werden, welches das Venensystem darstellte..

Dies war ein, im leeren Zustande sehr flach gewölbter dünner Kautschukschlauch von 1 cm Breite und 25 cm Länge, der zwischen dem Ende des arteriellen Rohres und der Einmündung in die obere Kugel eingeschaltet werden konnte. Er ist auf der Abbildung weggelassen.

Capillare Spitze. Um das Circulationssystem zu vervollständigen, wurde bei einigen Versuchen zwischen das arterielle Rohr und den Venenschlauch ein kleines, in eine kurze capillare Spitze ausgezogenes Glasröhrchen, im lichten Durchmesser unbedeutend weiter als das arterielle Rohr eingesetzt, welches eine Verlangsamung des Stromes bewirkte.

Saugende Spannung oder negativer Druck. Zur Herstellung einer saugenden Spannung, wie sie im Pleuraraume über dem Anfangs- und Endpunkte der Circulation, dem Herzen und den grossen Gefässstämmen im Thorax durch die elastische Spannung der Lunge erzeugt wird, diente eine Glastrommel *T*, die mit einem elastischen Felle aus Kautschuk überzogen war.

Diese wurde durch Vermittelung des Manometers *n*, der sich in den centralen Hals der oberen Kugel einfügte, und eines an diesem befestigten kurzen und stärkeren Kautschukröhrchens mit dem freien Raume in der oberen Kugel, über dem Ausgangs- und Endpunkte der Circulation, den ich den Saugraum nennen will, in Verbindung gesetzt.

Wenn die Saugspannung nicht angewandt wurde, konnte das herabhängende Rohr durch eine Klemme *k* verschlossen werden.

Um eine saugende Spannung hervorzubringen, wurde das elastische Fell der Trommel mit dem Daumen nach einwärts gedrückt und zugleich die dünne Spitze, in welcher die Trommel endigt, in das von dem Manometer herabhängende Kautschukrohr eingefügt, nachdem die Klemme abgenommen worden war. Lässt der Druck des Daumens nun nach, dann strebt das eingedrückte Kautschukfell seine flache Stellung wieder zu gewinnen und übt so eine Spannung nach Aussen, welche den Druck im Saugraume unter den Atmosphaerendruck herabsetzt. Die Grösse dieser Herabsetzung entspricht der Spannung, welche das nach innen gewölbte Kautschukfell besitzt.

Bei dem Versuche muss man darauf sehen, dass über dem in der oberen Kugel oberhalb des Quecksilbers befindlichen Wasser noch ein Raum frei bleibt, so dass das Wasser bei Herstellung der Saugspannung nicht in das Manometerrohr hinaufsteigen kann.

Die Herabsetzung des Druckes im Saugraum würde man mit dem gangbaren Ausdruck als negativen Druck bezeichnen können, allein mir erscheint es den gegebenen Verhältnissen angemessener und leichter ver-

ständlich, wenn ich den Ausdruck saugende Spannung oder Saugspannung dafür gebrauche, weil es diese ist, welche durch Herabsetzung des Druckes im Saugraume, auf den Inhalt des unter dem höheren äusseren Atmosphaerendrucke stehenden Circulationsrohres eine saugende Wirkung ausüben muss. Auch werden wir Gelegenheit haben, beide Ausdrücke nebeneinander zu gebrauchen. Die Grösse der Saugspannung bezeichnet also, wie der negative Druck, den Unterschied zwischen dem Atmosphaerendruck und dem Drucke im Saugraume und daher den Ueberdruck der Atmosphaere.

Versuch. Die mit dem Apparate angestellten Versuche hatten den Zweck, die Geschwindigkeit der Circulation unter verschiedenen Umständen kennen zu lernen, und der Versuch bestand also darin, dass mittels einer Uhr, welche ganze und viertel Secunden schlug, die Zeit beobachtet wurde, welche verfloss, bis das Quecksilber in der oberen Kugel, dessen Menge jedesmal genau die gleiche war, bei seinem Abflusse in die untere eine bestimmte Stelle erreicht hatte. Diese war durch eine auf der Oberfläche der Kugel angebrachte Marke bezeichnet. Die Zählung wurde begonnen mit dem Oeffnen des Hahnes, und beendet wenn der Rand des sinkenden Quecksilberspiegels die Marke berührte.

Wie man sieht, stellt jeder Versuch, im Grossen, das Fliessen während eines Pulsschlages vor.

Am Ende eines jeden Versuches wurde der Hahn geschlossen und das in die obere Kugel eingeflossene Wasser mit einem Heber entfernt, darauf das in die untere Kugel eingetretene Quecksilber ebenfalls mit einem Heber herausgenommen und wieder in die obere Kugel eingefüllt, was leicht ohne Verlust bewerkstelligt werden kann. Dann wurde die untere Kugel wieder mit frischem Wasser gefüllt, das gebrauchte wurde jedesmal weggegossen und das Rohr luftfrei wieder aufgesetzt; so war Alles für einen neuen Versuch vorbereitet. Im Beginne einer Beobachtungsreihe war immer darauf zu sehen, dass Rohre und Hahn luftfrei waren und dass der Hahn gut und sicher schloss.

Die Länge des Rohres wurde so gewählt, dass die ganze Zeit des Durchfliessens gross genug wurde, um einen Zeitunterschied von mehr als 1 bis $1^1/_2$ Secunden ausserhalb der Zufälligkeiten, die meist durch kleine Temperaturunterschiede veranlasst wurden, oder anderer Beobachtungsfehler liegend betrachten zu können.

Ich gebe nun einige Beobachtungen an, um den Grad der Sicherheit der Zeitbestimmungen bei ziemlich gleichmässiger Temperatur zu zeigen. Bei diesen Versuchen war der Saugraum immer offen, also das Manometer

von der oberen Kugel weggenommen, so dass auch das Innere des Apparates unter Atmosphaerendruck stand.

I. Versuche mit 6 Metern des runden Rohres bei offenem Saugraum, am 13. October 1884, Beobachtungen am Morgen und Nachmittag. Zeit in Secunden: 78, 78, 79. Mittel 78.

II. Versuche mit 6 Metern Rohr und dem Venenschlauch, sonst wie vorher, Beobachtungen am Morgen, den 8., 9. und 10. October.
Zeit in Secunden: 79, 79, 79, 78, 79. Mittel 79.

III. Versuche mit 6 Metern Rohr sammt Venen und Capillarspitze, sonst wie vorher am 11., 12., 13. und 16. October.
Zeit in Secunden: 91, 91, 90, 90, $91^1/_2$, 91. Mittel 91.

Während der Arbeit stellte es sich heraus, dass die Durchlaufszeiten für dieselbe Zusammenstellung der Rohre nach einiger Zeit länger geworden waren und dies wurde zuerst im September 1884 bemerkt, nachdem der Apparat einige Monate in Ruhe gestanden hatte. Die Ursache war eine Pilzbildung im Inneren der Rohre und es wurde deshalb später, nach Reinigung der Rohre, die Vorsicht gebraucht, vor dem Beginne und am Ende der Arbeit eines jeden Tages eine controlirende Zeitbestimmung bei offenem Saugraume zu machen; ausserdem wurden die Rohre öfters mit 5 procentiger Carbolsäurelösung gereinigt.

Eine Quelle von Unregelmässigkeiten war die Temperatur, weil sich die Rohre bei Erwärmung erweiterten und zwar wurde durch vergleichende Beobachtungen gefunden, dass zwischen 13° und 20° C. für jeden Temperaturgrad die Geschwindigkeit des Fliessens um etwa eine Secunde ab- oder zunahm: Die Zeit des Durchfliessens verkürzte sich mit zunehmender und verlängerte sich mit abnehmender Temperatur. Dabei wird angenommen, dass die Temperatur des Apparates und der Flüssigkeit auch die der umgebenden Luft sei. Da dies nicht immer ganz genau zusammentraf, so ergab sich die oben schon bestimmte Fehlergrenze von 1 bis $1^1/_2$ Secunden. Wenn das Wasser erheblich unter der Lufttemperatur war, so wurde es entsprechend erwärmt. Bei den Versuchen in der pneumatischen Kammer, für welche die Erwärmung sich nicht ausführen liess, war es am Morgen bisweilen noch kühl, während die Temperatur in der Kammer, durch die Erhöhung des Luftdruckes und Erwärmung durch Heizung rasch stieg. Bei Vergleichung von Bestimmungen, die unter solchen Umständen gemacht wurden, konnte die Correction von 1 Secunde auf 1° C. angebracht werden.

Es wurden nun Zeitbestimmungen bei verschiedener Anordnung des Versuches ausserhalb und innerhalb der pneumatischen Kammer gemacht,

wobei die Druckhöhe in der Kammer zu 32 oder zu 40 cm Quecksilberhöhe genommen wurde.

Versuche bei offenem Saugraume. Ich gebe zuerst die im Juni 1884 gemachten vergleichenden Bestimmungen bei offenem Saugraume mit drei verschiedenen Zusammenstellungen der Rohre und der capillaren Spitze, welche ich mit I, II, III bezeichne. Die Temperaturunterschiede bewegten sich bei jeder Versuchsreihe innerhalb eines Grades C. Die Zahlen bedeuten die Zeit des Fliessens in Secunden.

A.	Unter gewöhnl. Luftdrucke.	Unter erhöhtem Luftdrucke
I.	55	$55^1/_2$, $55^1/_2$
II.	73	$72^1/_2$, $72^1/_2$, 73
III.	98	$97^1/_2$.

Diese Zahlen stimmen so nahe untereinander überein, dass eine Einwirkung des erhöhten Luftdruckes auf die Geschwindigkeit der Circulation bei offenem Saugraume nicht angenommen werden kann.

Versuche mit dem verschlossenen und luftfreien Saugraume. Bei verschlossenem und luftfrei gemachtem Saugraume konnte der Luftdruck nur durch Vermittelung der Wandungen der Rohre auf den circulirenden Inhalt einwirken. Es wurde dazu die obere Kugel ganz mit Wasser angefüllt und die centrale Oeffnung *b* mit einem Kautschukstöpsel verschlossen, so dass der Apparat nun keine Luft enthielt. Das Zustöpseln bedingte immer eine am Manometer sichtbare Erhöhung des Druckes in den Rohren, welche ausgeglichen wurde, indem man aus einem verschliessbaren T-förmigen Glasröhrchen, welches in das arterielle Rohr eingefügt war, einige Tropfen austreten liess, bis ein bestimmtes Gleichgewicht hergestellt war.

Die Versuche wurden am 29. Mai 1884 und am 23. und 24. September 1886 gemacht und dabei wurde an zwei von diesen Tagen der Apparat für den ersten Versuch unter dem erhöhten Luftdrucke schon vor Beginn der Drucksteigerung zum Versuche fertig gerichtet, dieser aber erst ausgeführt, nachdem die bleibende Druckhöhe erreicht war. Die betreffenden Beobachtungen sind in der Tabelle mit „vorh. ger.“ bezeichnet, während ein anderer Versuch, der in umgekehrter Weise unter dem erhöhten Drucke gerichtet und nach Herstellung des gewöhnlichen Luftdruckes ausgeführt wurde, mit „u. Dr. ger.“ bezeichnet ist.

Am 29. Mai war die Temperatur Anfangs niedrig, 16. 2° C., und auch der erste Versuch unter dem erhöhten Drucke war noch unter einer ge-

ringeren Temperatur bei 19° C., gemacht worden, als die folgenden, bei welchen die Temperatur durch Zuströmen erwärmter Luft zwischen 20 und 21° C. gewesen war. Diese beiden ersten Versuche wurden daher auf die Temperatur von 20° C. corrigirt, was sie mit den übrigen in Uebereinstimmung brachte. Bei dem ersten Versuche unter gewöhnlichem Luftdrucke betrug die Zeit des Fliessens 102 Secunden, corrigirt 98 Secunden, bei dem ersten unter erhöhtem Drucke 100 Secunden, corrigirt 99 Secunden, diese beiden sind in der Tabelle mit einem Sterne bezeichnet.

B.	Unter gew. Luftdruck.		Unter erhöhtem Luftdruck.
	vorher	nachher	
29. V. 84.	98*	99, 99, 98	99* vorh. ger., 98, 98, 98, 99
23. IX. 86.	—	58 u. Dr. ger.,	$57^3/_4$, $57^3/_4$
24. IX. 86.	$58^3/_4$	—	$58^1/_4$ vorh. ger., 58, $58^1/_2$

Die Uebereinstimmung der Fliesszeiten unter dem gewöhnlichen und dem erhöhten Luftdrucke ist hinreichend, um eine Verlangsamung des Fliessens durch die Wirkung des Luftdruckes auszuschliessen.

Die Ergebnisse der Tabelle A und B beweisen also, dass durch die Erhöhung des Druckes weder die Reibung der Flüssigkeit an den Wandungen der Rohre, noch die innere Reibung der Flüssigkeit verstärkt worden war, und dass der Widerstand der Rohre gegen den Strom überhaupt nicht zugenommen hatte.

Man muss sich demnach die Wirkung des Druckes auf die Verlangsamung des Stromes anders vorstellen, als es v. Vivenot gethan hatte: sie könnte nur dann eine Verzögerung herbeiführen, wenn ein Zusammenpressen der Rohre und eine Verengung des Weges wirklich eintreten würde. Dies kann aber nicht geschehen, so lange die Rohre mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, welche, wie das Wasser oder Blut, nicht zusammendrückbar ist, und welche auch nirgend hin unter dem Drucke ausweichen kann, so lange dieser auf alle der Flüssigkeit zugängigen Theile eines Kreislaufes mit der gleichen Kraft einwirkt.

Im menschlichen Körper besteht aber eine Einrichtung, welche dem Blute einen Raum darbietet, den Pleuraraum, in dem der Druck immer geringer ist, als in und auf den übrigen Theilen des Circulationssystems und in diesen Raum würde das Blut einem Druck ausweichen können, vorausgesetzt, dass der Unterschied des Druckes in dem Pleuraraum von dem äusseren Luftdrucke, zugleich mit der Erhöhung des Luftdruckes zunehmen würde.

Der Unterschied des Druckes im Pleuraraum, der durch die Ausdehnung der Lungen bewirkt wird, nimmt nun wirklich unter der Erhöhung des Luftdruckes zu.

In den Arbeiten von v. Vivenot und von Panum[1] ist es nachgewiesen, dass die mittlere Ausdehnungsstellung der Lungen unter dem erhöhten Luftdrucke eine erweiterte ist, wofür die Ursache nach meiner Arbeit „*Ein Apparat zur Erklärung der Wirkung des Luftdruckes auf die Athmung*“[2] in dem stärkeren Widerstande der verdichteten Luft gesucht werden muss, durch welchen die Zusammenziehung der Lungen langsamer und weniger vollständig wird. Mit einer ausgedehnteren Stellung der Lungen ist nun eine verstärkte Spannung derselben und dadurch auch eine verstärkte Saugspannung im Pleuraraum verbunden, deren Wirkung auf die Entleerung der Venen und Capillaren unter dem erhöhten Luftdrucke bereits mehrfach beobachtet worden ist.[3]

Um die Wirkung der Lungenspannung an unserem Apparate einzuführen, wurde die Saugtrommel zu Hülfe genommen. Wenn diese mit dem Apparate verbunden ist, so muss sich eine ihr vorher ertheilte Spannung, wie die der Lungen, bei Erhöhung des äusseren Luftdruckes ebenfalls verstärken, weil der zunehmende äussere Luftdruck das Fell weiter nach innen wölbt und dadurch stärker ausdehnt.

Lassen wir die Frage der Pulsfrequenz vorläufig ausser Beachtung, so ist es schwer vorherzusagen, welche Wirkung die Lungenspannung auf die Geschwindigkeit des Blutstromes haben müsste, denn wenn die saugende Spannung der Lungen das Zuströmen des Venenblutes in die Vena cava beschleunigt, so verzögert sie in demselben Maasse das Ausströmen aus der Aorta thoracica, weil die Druckverminderung gleichzeitig den Eingang und den Ausgang des grossen Kreislaufes trifft. Eine Aenderung im Gefälle des Blutstromes, welches diesem seine Geschwindigkeit ertheilt, wäre also im Allgemeinen nicht anzunehmen, wenn wir unter Gefälle den Unterschied des Blutdruckes in der Aorta und der Vena cava verstehen.

Mit Rücksicht auf den Puls wissen wir aus den Arbeiten von C. Ludwig,[4] dass bei Ausdehnung der Lungen durch die Einathmung beim Hunde eine starke Verminderung des Pulsfrequenz eintritt, während der Blutdruck sinkt, und K. Vierordt[5] hat auch beim Menschen eine wenn auch geringe Verminderung der Pulsfrequenz bei der Einathmung

---

[1] Pflüger's *Archiv.* Bd. I. S, 125.

[2] *Dies Archiv.* 1879. S. 284.

[3] v. Vivenot, a. a. O. S. 395 ff.

[4] C. Ludwig, *Lehrbuch der Physiologie.* 1861. II. S. 161 und 164.

[5] v. Vierordt, *Lehre vom Arterienpuls.* 1855. S. 193.

[6] Marey, *La Circulation du Sang.* Paris 1881. S. 463, 468.

durch eine grosse Reihe von Messungen nachgewiesen, ebenso Marey[6] bei tiefen Athemzügen.

Wenn man ruhig auf dem Rücken liegt, kann man bei einer tiefen Einathmung mit kurzem Anhalten des Athmens in der Art. cruralis die Abnahme der Frequenz und des Blutdruckes deutlich fühlen.

K. Vierordt fand auch, dass der Puls bei der Einathmung träger ist, als bei der Ausathmung, dass also das Herz sich bei Vollendung der Systole langsamer zusammenzieht. Eine langsamere Systole lässt aber entweder auf ein geringeres Maass der angewandten Kraft oder auf einen verstärkten Widerstand schliessen, und in beiden Fällen würde der Blutstrom langsamer fliessen. Wenn man einen gleichbleibenden Elasticitätscoefficienten der Arterien voraussetzt, kann man das gleiche Ergebniss aus einer Verminderung der Frequenz bei gleichzeitigem Sinken des arteriellen Druckes ableiten, weil ein allgemeines Sinken des Blutdruckes eine Verengung des Strombettes zur Folge haben müsste. Die Elasticität der Arterien wird aber durch den Athemzug nicht verändert, sie erschlaffen weder activ, noch contrahiren sie sich stärker; dies beweisen die in der Regel unveränderten Kennzeichen für die Elasticität an Aufnahmen von Pulscurven während eines tiefen Athemzuges.

Die aus diesen Angaben zu ziehende Wahrscheinlichkeit würde also dahin lauten, dass bei der Verstärkung der Saugspannung durch die Ausdehnung der Lungen der Blutstrom verlangsamt werde.

Versuche mit der Saugspannung. Auch in unserem Apparate ergaben die Versuche mit dem Eintreten der Saugspannung eine Abnahme der Geschwindigkeit des Stromes, und diese Abnahme wurde um so stärker, je mehr die Saugspannung zunahm.

In der folgenden Tabelle gebe ich die Zusammenstellung einer Anzahl von Beobachtungen bei zunehmender Spannung, welche mit drei verschiedenen Verbindungen der Rohre im October 1884 gemacht worden waren. Bei jeder der drei Verbindungen zeigte sich eine Verlangsamung des Fliessens, deren Grösse aber bei jeder Verbindung eine andere war. In der Verbindung I, mit 6 m des runden Rohres allein, war die Verlangsamung sehr unbedeutend, in der Verbindung II, mit Hinzufügung des Venenschlauches, war sie verhältnissmässig am stärksten. In der Verbindung III, mit Venen und capillarer Spitze, war durch die Wirkung der engeren Spitze die Fliesszeit auch ohne Saugspannung schon bedeutend verlängert. Die Spannung und deren Zunahme verlängerte sie dann noch weiter um etwa die gleichen Zeitbeträge, wie bei Verbindung III mit dem Venenschlauche ohne capillare Spitze.

Die Zahlen der Tabelle geben die Abflusszeiten in Secunden.

Tabelle C.

Spannung in Cm.	I. ohne Venenschl.	II. mit Venenschl.	III. mit V. u. Cap.
0	78	79	91
1·0	—	—	99
1·6	—	—	104
3·0	—	—	108
3·2	—	—	108
3·3	—	97	—
3·4	—	98	—
4·0	81 1/2	—	113
4·3	—	102	—
4·4	—	103 1/2	—
4·7	—	104	118
4·8	—	—	123
5·4	84	—	130
6·0	—	—	136

Diese Bestimmungen geben nur den Gang der Verlangsamung im Allgemeinen, sie sind nicht geeignet, ein Gesetz daraus abzuleiten, auf welches wir später zurückkommen werden.

Versuche mit Saugspannung unter erhöhtem Luftdrucke. Gemäss der Einrichtung unseres Apparates musste, wenn die Saugtrommel ohne Spannung mit ihm verbunden wurde, mit der Erhöhung des äusseren Luftdruckes eine saugende Spannung entstehen, oder die Spannung, wenn sie bereits vorhanden war, musste zunehmen, wie bei der Lunge.

In der folgenden Tabelle habe ich eine Reihe von Beobachtungen zusammengestellt, bei einigen von denen der Apparat mit der Trommel vor Beginn der Druckerhöhung zum Versuche fertig gerichtet wurde, indem er entweder noch keine, oder indem er eine bestimmte Spannung erhielt.

Im ersten Stabe ist die Grösse dieser vorher ertheilten Spannung angegeben. Der zweite Stab enthält die Grösse der Spannung, welche der Apparat bei diesen Versuchen mit dem Erreichen des bleibenden um 32 oder 40 ^{cm} erhöhten Luftdruckes genommen hatte. Neben diesen Angaben enthält der zweite Stab zum Vergleiche noch die Spannung bei einigen Versuchen, welche entweder vor Beginn der Druckerhöhung (gew. Dr.) oder unter der Druckerhöhung (erh. Dr.) gerichtet und ausgeführt worden waren.

Ausserdem ist im zweiten Stabe zu Anfang jeder Versuchsreihe unter

„offen“ ein Versuch eingesetzt, der die Fliesszeit der betreffenden Verbindung der Rohre ohne Spannung, also bei offenem Saugraume giebt.

Der dritte Stab enthält die Fliesszeiten in Secunden, der vierte die Lufttemperaturen. Unter diesen sind die Temperaturen der Versuche, welche vorher gerichtet waren und unter Druckerhöhung ausgeführt wurden, mit einem Stern bezeichnet worden. Es sind dies die Mittelwerthe aus der Temperatur vor Beginn der Druckerhöhung und der Temperatur bei Ausführung des Versuches. Die Temperatur der Luft stieg nämlich mit der Zunahme des Luftdruckes, durch die Verdichtung der Luft zuletzt etwas rasch, so dass die Temperatur des Apparates hinter der Lufttemperatur zurückbleiben musste. Die Annäherung des Mittels ist gross genug, obwohl noch kleine Ungleichheiten bleiben, welche innerhalb der Fehlergrenze liegen.

Die Versuchsreihe I wurde mit 6 Meter des runden Rohres gemacht, bei II war der Venenschlauch hinzugefügt, bei III war ausserdem zwischen dem Venenschlauche und dem runden Rohre noch 1 Meter Rohr von 2 mm Durchmesser eingeschaltet. Die Versuche wurden im Mai, Juni und September 1884 ausgeführt.

Tabelle D.

	Vorher ger. Spannung in Cm.	Spannung bei dem Versuche.	Fliesszeit in Secunden.	Temp. °C.
I. 25. IX	—	offen	73	17·5
„	0, steigt auf	3·1	76	17·1*
„	—	erh. Dr. 3·1	76	16·5
II. 1. VI	—	offen	73	18·7
„	—	gew. Dr. 3·5	87	16·2
„	—	erh. Dr. 3·5	84	18.7
„	3·6, steigt auf	6·6	104	17·5*
III. 30. V	—	offen	98	18·4
„	—	gew. Dr. 3·3	114	17·0
31. V	0, steigt auf	3·3	115	17·6*
30. V	3·0, steigt auf	5·3	125	17·8*

Mit Berücksichtigung der Temperaturen und der Fehlergrenze sehen wir aus diesen Ergebnissen, dass die gleiche Spannung jedesmal auch die gleiche Verlangsamung der Fliesszeit bewirkte, unabhängig davon, ob der Versuch unter dem erhöhten, oder dem gewöhnlichen Luftdrucke gemacht, ob er vor der Druckerhöhung gerichtet worden war oder nicht. In der

Reihe I zeigt sich wieder, dass die Verminderung der Geschwindigkeit des Fliessens nur eine sehr unbedeutende ist, wenn der Venenschlauch nicht einwirkt.

Fassen wir die Ergebnisse sämmtlicher in den Tabellen A bis D enthaltenen Versuche zusammen, so zeigen sie uns, dass die Erhöhung des Luftdruckes nur dann eine Verlangsamung des Fliessens bewirkt, wenn die Druckerhöhung zugleich eine Verstärkung der Spannung herbeiführt. Wenn die Verstärkung, oder wenn die saugende Spannung überhaupt fehlte, konnte auch in dem vollständig geschlossenen Circulationssystem eine Verzögerung des Fliessens nicht beobachtet werden.

Vergleichung mit dem arteriellen Systeme. Im arteriellen System kann die durch Ausdehnung der Lungen herbeigeführte Verstärkung der Saugspannung im Pleuraraume keine andere Wirkung ausüben, als wie die saugende Spannung in unserem Apparate, nämlich eine den Blutstrom verlangsamende.

Im arteriellen System sehen wir daneben auch die Pulsfrequenz vermindert. Eine Verminderung der Pulsfrequenz folgt nicht unmittelbar aus der Verlangsamung des Blutstromes, denn es kann diese auch mit einer vermehrten Frequenz zusammengehen, wie z. B. bei anaemischen Zuständen, wenn der Blutdruck vermindert und Kraft wie Inhalt des Herzschlages klein sind. In unserem Falle aber scheint die Verminderung der Frequenz auf irgend eine Weise, mechanisch oder durch Nervenwirkung, eben so streng an die Ausdehnung der Lungen gebunden zu sein, als die Verlangsamung des Fliessens. Ich glaube dies annehmen zu dürfen, weil die Abnahme der Frequenz nicht nur unter dem erhöhten Luftdrucke, sondern auch bei der Ausdehnung der Lungen durch die Einathmung beobachtet wird. Auch hat P. Vejas unter Prof. Winckels Leitung die Verminderung der Pulsfrequenz, welche man bei Frauen im Wochenbett, unmittelbar nach der Geburt findet, mit der Ausdehnung der Lunge begründen können, welche in der letzten Zeit der Schwangerschaft beschränkt gewesen war, die sich aber nun wieder ungehindert vollzieht.[1]

Es bleibt noch übrig die Bedingungen kennen zu lernen, welche der Verlangsamung des Fliessens zu Grunde liegen. Wir betrachten, um diese kennen zu lernen, zuerst das äussere Verhalten der Rohre vor und bei dem Fliessen, ohne und mit Saugspannung, dann die Veränderung in den Manometerständen und endlich die Zeitdauer des Fliessens.

---

[1] *Sammlung klinischer Vorträge*, Nr. 269. P. Vejas, Mittheilung über den Puls und die vitale Lungencapacität in der Schwangerschaft.

1. Aeusserliches Verhalten der Rohre. Im äusseren Umfange der Rohre ist eine sichtliche Veränderung nur dann zu bemerken, wann die Saugspannung eingeführt wird, während der Venenschlauch dem Rohre angefügt ist. Dann wird der vorher durch seinen Inhalt ausgedehnte und abgerundete Venenschlauch mehr oder weniger stark abgeflacht, indem er einen Theil seines Inhaltes an den Saugraum abgiebt, und er bleibt in diesem Stande auch während des Fliessens. Am runden Rohre tritt keine auffallende Veränderung ein.

2. Veränderungen im Manometer. Richten wir den Blick auf das Manometer, welches bei m in 1 Meter Entfernung vom Eingange des runden Rohres angebracht ist. In seinem freien Schenkel steht bei offenem Saugraume das Quecksilber im ruhenden Gleichgewichtsstande etwas höher, als in dem anderen Schenkel, welcher mit dem Rohre verbunden ist, weil die Flüssigkeitshöhe zwischen der etwas höher stehenden Mündung des Rohres, a' (Fig. 1, S. 243), und dem Quecksilber dieses Schenkels, auf den übrigen Inhalt des Rohres einen Druck ausübt: diesen Stand nehmen wir als den Nullpunkt für unsere Beobachtungen. Mit dem Oeffnen des Hahnes steigt das Quecksilber im freien Schenkel rasch in die Höhe und erreicht, wenn das runde Rohr von 6 Meter Länge allein genommen wurde, einen höchsten Stand von $10 \cdot 4^{\text{cm}}$, mit dem Beginne des Fliessens. Dieser Stand entspricht der Entfernung des Manometers vom Eingange des Rohres, und der Druckhöhe des Quecksilbers im Apparate. Bringt man das Manometer weiter unten, einen Meter von der Mündung des Rohres in m' an (s. Fig. 2, S. 259), so wird dort der höchste Stand $1 \cdot 8^{\text{cm}}$. Im Laufe des Fliessens nimmt an beiden Stellen die Höhe des Manometerstandes langsam ab.

Wird bei diesem Versuche eine Saugspannung eingeführt, so sieht man in der Ruhe, dass im freien Schenkel des Manometers das Quecksilber unter den Gleichgewichtsstand bei 0, den es bei offenem Saugraum eingenommen hatte, herabsinkt, während es sich im anderen Schenkel um ebenso viel erhöht. Diese Veränderung tritt in der gleichen Grösse an der Stelle bei m, bei m' und auch in dem Manometer bei n (s. Fig. 2) über dem Saugraume auf, und der Unterschied im Manometerstand entspricht nun der Grösse der Saugspannung. Das ganze System hat einen um diese Grösse erniedrigten Gleichgewichtsstand angenommen, wobei der Seitendruck der Flüssigkeit auf die Wandungen des Rohres um ebensoviel abgenommen hat. An jeder Stelle ist der Druck negativ geworden, also unter den äusseren Atmosphaerendruck gesunken. Setzt man nun den Versuch in Gang, so erhebt sich im Beginne des Fliessens das Manometer nicht mehr auf die Höhe, welche es ohne Saugspannung über dem Gleich-

gewichtsstande bei 0 eingenommen hatte, es bleibt um die Grösse der Saugspannung darunter, aber über den neuen Gleichgewichtsstand steigt es nicht weniger hoch, als es vorher über den bei 0 liegenden gestiegen war.

So lag in einem Versuche, den ich später noch mittheilen werde, bei der Saugspannung von 2^{cm} der Gleichgewichtsstand nicht mehr bei 0, sondern bei -2^{cm}, und das Quecksilber erreichte in *m* (s. Fig. 2, S. 259) nur die Höhe von $8 \cdot 4^{cm}$, anstatt der 10.4^{cm} bei offenem Saugraum, und in *m′* von $-0 \cdot 2^{cm}$, anttatt $1 \cdot 8^{cm}$. Der Druck war also im unteren Theile des Rohres auch im Fliessen negativ geblieben. Ueber den neuen Gleichgewichtsstand bei -2^{cm} jedoch hatte sich die Druckhöhe im Beginn des Fliessens wieder um $10 \cdot 4$ und um $1 \cdot 8^{cm}$ erhoben.

Wenn hier der äussere Druck stärker ist, als der innere, wie kommt es dann, dass das runde Rohr nicht zusammengedrückt wird? Dies geschieht in der That, allein in sehr geringem Grade, denn das runde Rohr ist durch seinen Bau gegen einen allseitigen gleichmässigen Druck von aussen sehr widerstandsfähig. Wenn der Ueberdruck auf das Rohr einwirkt, wird dieses zusammengedrückt, bis seine nach aussen gerichtete Spannung, welche dabei entsteht, stark genug ist, um dem Ueberdrucke das Gleichgewicht zu halten, wodurch es möglich wird, dass der Druck im Inneren negativ bleibt. Die mit diesem Vorgange verbundene geringe Raumverminderung im Rohre veranlasst den Austritt eines entsprechenden Theiles von dem Inhalte des Rohres in den Saugraum.

Wenn der Venenschlauch angefügt ist, der weniger Widerstand leisten kann, so verliert dieser einen grösseren Theil seines Inhaltes und wird mehr oder weniger stark abgeplattet.

3. Die Fliesszeiten. Wir haben schon gesehen, dass die Zeit des Fliessens, welche man mit dem runden Rohre bei offenem Saugraume beobachtet hatte, etwas verlängert wurde, wenn man eine Saugspannung einführte. Die Anfügung des Venenschlauches bewirkt, ohne Saugspannung, ebenfalls eine kleine Zunahme der Fliesszeit, die so gross ist, als sie der Verlängerung des Weges und der Weite des Schlauches antspricht. Wenn aber dann eine Saugspannung hergestellt wird, welche durch die Abplattung des Schlauches die Strombahn verengt, so nimmt die Fliesszeit in einem sehr starkem Verhältnisse zu.

Bei einer besonders angestellten Versuchsreihe, deren Ergebnisse später vollständig mitgetheilt werden, betrug bei offenem Saugraume die Fliesszeit mit dem runden Rohre allein 48 Secunden. Das Anfügen des Venenschlauches verlängerte sie auf 49 Secunden.

Die Einführung der Saugspannung von 2^{cm} gab dann folgende Fliesszeiten:

Für das runde Rohr allein . .	$51^1/_2$ Sec.,	Verlängerung	$3^1/_2$ Sec.
Mit Hinzufügung des Venenschl.	62 „	„	14 „

Während also der Venenschlauch an sich eine nur unbedeutende Verlängerung bewirkte, und während die Saugspannung mit dem runden Rohre eine Verzögerung von nur $3^1/_2$ Secunden hervorbrachte, wurde durch die gemeinsame Wirkung des Venenschlauches und der Saugspannung die Fliesszeit um 14 Secunden verlängert. Es ist klar, dass die Ursache dieser starken Verzögerung nur in der Verengung des Strombettes durch Abplattung des Venenschlauches gesucht werden kann.

Wären die Rohre von Metall, welches dem äusseren Ueberdrucke leicht widerstehen könnte, so würde keine Raumverengung und folglich keine Verlangsamung des Fliessens stattgefunden haben. Auch das runde Rohr, obgleich es dieselbe Wandstärke besass wie der Venenschlauch, nahezu 1 mm, konnte dem geringen Druckunterschiede einen stärkeren Widerstand entgegensetzen und wurde deshalb nicht merklich zusammengedrückt. Der Venenschlauch dagegen erlaubte die Abplattung, welche er auch im Fliessen beibehielt.

So weit der Venenschlauch oder das runde Rohr auch während des Fliessens durch den Ueberdruck der äusseren Atmosphaere unter ihrem natürlichen Umfang zusammengedrückt bleiben, behalten sie dadurch eine Spannung nach Aussen, und um die Grösse dieser Spannung muss an den betreffenden Strecken der Druck im Inneren auch im Fliessen negativ bleiben, ähnlich, wie wir dies schon im unteren Theile des runden Rohres am Manometer m' bei Einführung der Saugspannung beobachtet haben.

Vergleichung mit dem grossen Kreislaufe. Vergleichen wir diese Verhältnisse mit der ähnlichen Anordnung im grossen Kreislaufe, so finden wir, dass in der Vena jugularis, in der Nähe ihres Eintritts in den Saugraum der Pleuren, der Druck ebenfalls negativ wird. Bei der Verstärkung der Saugspannung durch die Einathmung werden die Venen, welche dem Pleuraraum zunächst gelegen sind, sichtlich vollständiger entleert. Die Venen überhaupt können wegen ihrer schwächeren Wandungen und ihrer im leeren Zustande flachgewölbten Form, dem durch die Saugspannung der Lungen veranlassten Uebergewicht des äusseren Atmosphaerendruckes einen viel geringeren Widerstand entgegensetzen, als die gleichmässig runden und stärkeren Arterien.

Da sich diese stärkere Wirkung des Ueberdruckes auf das ganze Venen- und Capillarsystem ausdehnt, so dient also die elastische Spannung der Lungen als Regulator der Blutcirculation, indem sie eine zu grosse Anhäufung des Blutes in den Venen verhindert. Der Raum im Venensystem ist grösser als im arteriellen und es würde durch dessen zu starke Anfüllung

eine grössere Menge Blutes der Verwendung im Haushalte des Körpers entzogen werden. Darin liegt wohl auch zum Theil die Begründung der bei sitzender Lebensweise so häufig auftretenden anaemischen Zustände, weil eine sitzende Lebensweise die Ausdehnung der Lungen beschränkt.

Die Wirkung der Saugspannung der Lungen erstreckt sich aber auch auf das arterielle System und wir sehen, dass bei der Einathmung der Seitendruck in den Arterien sinkt. Ganz in der gleichen Weise beobachten wir mit Einführung der Saugspannung im Apparate das Sinken des Seitendruckes im runden elastischen Rohre.

Nähere Bedingungen der Stromgeschwindigkeit. Um die Druckverhältnisse an verschiedenen Stellen des Circulationssystems während des Fliessens, und deren Veränderungen durch die Saugspannung, näher zu untersuchen, wurde eine eigene Reihe von Beobachtungen angestellt. Da hierfür mehrere Stellen zu vergleichen waren, die nicht gleichzeitig beobachtet werden konnten, und da sich die Manometerstände im Laufe des Versuches fortwährend änderten, so kam es darauf an, solche Vergleichungspunkte zu haben, welche bei der Wiederholung eines Versuches in derselben Grösse wiederkehrten und welche leicht zu bestimmen waren. Als solche eigneten sich die grössten, bei jedem Versuche im Beginn des Fliessens auftretenden Höhenunterschiede in den Manometerständen.

Damit erhielt man die Grösse des Seitendruckes, aus welcher man die Grösse der an der betreffenden Stelle im Anfange des Versuches wirksamen Kraft auch bei den Versuchen mit Saugspannung ableiten konnte.

Die verglichenen Stellen waren: Das Manometer n über dem Saugraume, ein Manometer m in der Entfernung von 1^{m} vom Eingang des runden Rohres und ein Manometer m' in der gleichen Entfernung vom Ende dieses Rohres, und zur Beobachtung wurde das eine Manometer abwechselnd mit einer dieser beiden Stellen verbunden, während das Manometer n über dem Saugraum angebracht blieb. (S. Fig, 2, S. 259.)

Für jeden Versuch waren zwei Ablesungen nöthig, die eine am Manometer des Saugraumes, die zweite an dem Manometer des Rohres, und da die hierfür gegebene Zeit kurz war, weil die beobachteten Stände vorübergehende waren, so wurde immer nur der Stand im freien Schenkel des Manometers abgelesen, und der gefundene Unterschied verdoppelt, um die richtige Ablesung zu erhalten. Es war deshalb darauf gesehen worden, dass die beiden Schenkel der Manometer möglichst genau die gleiche Weite hatten. Die Versuche wurden öfters wiederholt und dabei auch die Reihenfolge der Ablesungen umgekehrt. Die Scalen waren aus einem litho-

graphirten Netz von Centimetern und Millimetern herausgeschnittene Papierscalen, welche hinter den Manometerröhren befestigt wurden.

Die Beobachtungen wurden im Januar 1886 gemacht und um die Ungleichheiten der Temperatur des Apparates zu vermeiden, wurde das benutzte Wasser jedesmal auf einen bestimmten Wärmegrad, der Zimmertemperatur entsprechend, erwärmt. Die Pilzbildung wurde nach gründlicher Reinigung der Rohre, von denen einige erneuert worden waren, verhütet, indem diese am Schlusse des Tages mit 5 % Carbolsäure gefüllt wurden. Trotz alledem waren kleine Unregelmässigkeiten nicht zu vermeiden, und es wurden deshalb alle Beobachtungen ausgeschlossen, bei welchen die zu Beginn und Ende der täglichen Arbeit gemachten Controlbestimmungen mit offenem Saugraume den Unterschied von einer Secunde in der Fliesszeit überschritten.

Die Zahlenangaben, welche ich hier mittheilen werde, sind zum Theile wiederholt gefunden, zum Theile sind es mittlere Werthe.

Es war von besonderer Wichtigkeit, die Anordnung der Kräfte und Widerstände kennen zu lernen, welche die Stromgeschwindigkeit bedingen; als Maass der Kraft können wir den Unterschied des Druckes im oberen und unteren Theile des runden Rohres betrachten, den man als das Gefälle des Stromes bezeichneu kann.

Ich will nun einige Versuche mittheilen, zu deren Verständniss die nachstehende Figur dienen soll, in welcher m, m', n die Manometer bedeuten.

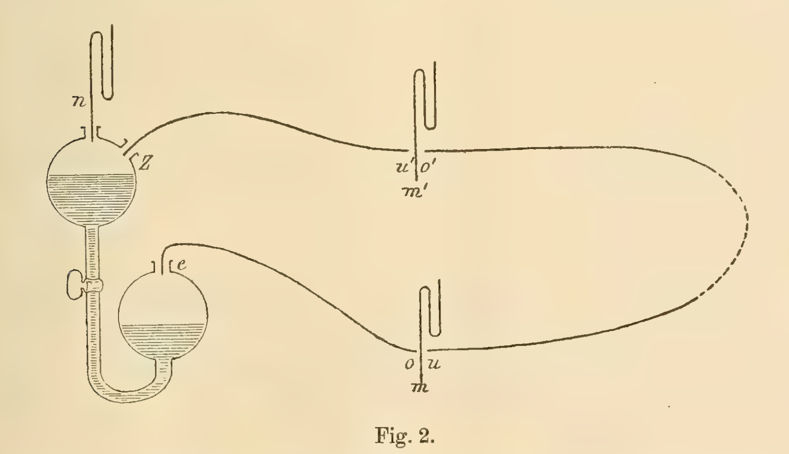


Fig. 2.

Reihe I. Versuche mit dem 6 Meter langen runden Rohre. Zuerst bei offenem Saugraum.

Wurde der Versuch mit dem runden Rohre bei offenem Saugraume vorbereitet, und verschloss man bei u, unmittelbar hinter dem Manometer

m, das Rohr mit dem Finger, so dass das Manometer noch mit dem Apparate in Verbindung stand, so stieg beim Oeffnen des Hahnes der Druck im Manometer um 13·2 ^{cm}, und blieb auf dieser Höhe, so lange der Verschluss anhielt. Verschloss man hinter dem Manomoter *m'*, so zeigte die Druckhöhe eine geringe Abnahme von etwa 0·9 ^{cm}, in Folge des vergrösserten Raumes durch Hinzufügung des 4 ^{m} langen Stückes *u o'* und der Erweiterung dieses Stückes durch den Druck. Fügen wir diesem Werthe noch 0·1 ^{cm} für die Erweiterung des letzten Meters der Rohrlänge hinzu, und ziehen 1·0 von 13·2 ab, so bleibt 12·2 ^{cm} für die wirksame Druckhöhe. Der Werth 12·2 entspricht nahezu der Grösse des Seitendruckes am Eingange des Rohres bei *e*, wenn das Fliessen beginnt, er ist etwas kleiner.

Wenn man nach Beobachtung dieses Quecksilberstandes den Finger bei *u* wegnahm, so fiel der Druck im Manometer *m* zuerst rasch auf 10·4 ^{cm}, wo er einen Augenblick anhielt, um dann im Verhältniss mit dem Fortgange des Fliessens allmählich weiter abzunehmen. In Manometer *m'* fiel er in derselben Weise auf 1·8 ^{cm}. Diese beiden Stände sind die nämlichen, auf welche sich, wie wir gesehen haben, im Beginn des Fliessens bei dem Versuche das Quecksilber über seinen Gleichgewichtsstand erhebt, und deren Veränderung unter verschiedenen Umständen den Gegenstand unserer Beobachtung bilden soll.

Ich will hier bemerken, dass dem höchsten Stand immer noch eine kleine Schwankung nach aufwärts vorausgeht, die etwa 0·2 ^{cm} beträgt; es ist dies die Welle, die dem Beginne des Fliessens vorhergeht,[1] und man erkennt daran, dass der höchste Stand erreicht ist. Die Höhe der Welle wurde übrigens in die Beobachtung nicht eingeschlossen. Wenn eine Saugspannung hergestellt ist, geht am Manometer *m'*, welches der Mündung näher liegt, der positiven Welle zuerst eine negative voraus, welche bei Einfügung der capillaren Spitze ausbleibt. Die negative Welle hängt, wie wir später sehen werden, mit einer vorübergehenden Verstärkung der Saugspannung zusammen.

Wenn wir nach Bestimmung des Seitendruckes bei *e*, *m* und *m'*, für den Seitendruck an der Mündung des Rohres in die obere Kugel bei *z*, die Grösse 0 annehmen, so geben uns diese vier Bestimmungen das Gefälle des Rohres bei Abwesenheit einer Saugspannung.

Wir hätten also im Beginne des Fliessens

an den Punkten	*e*	*m*	*m'*	*z*
die Druckhöhen	12·2	10·4	1·8	0

Vertheilt man diese vier Werthe als Ordinaten auf die entsprechenden Punkte einer geraden Linie von 6 ^{m} Länge, so weicht eine Linie, welche

[1] *Dies Archiv.* 1882. S. 230.

die oberen Enden der Ordinaten verbindet, nur sehr wenig von einer geraden ab, sie giebt uns das Gefälle im Rohre.

Hauptsächlich massgebend für das Gefälle im runden Rohre bleiben uns jedoch die direct bestimmten Werthe bei m und m', und wir werden den Unterschied dieser Werthe von nun an als das Gefälle im runden Rohre bezeichnen. Es betrug unter den Umständen des Versuches bei offenem Saugraume

das Gefälle $10{\cdot}4 - 1{\cdot}8 = 8{\cdot}6^{\text{cm}}$.

Versuch mit der Saugtrommel ohne Spannung. Wir ändern nun den Versuch, indem wir den Saugraum mit dem Manometer n verschliessen und dieses mit der Saugtrommel verbinden, ohne aber jetzt schon eine Saugspannung herzustellen.

Im Beginn des Versuches herrscht also innerhalb des Saugraumes, sowie ausserhalb, der Atmosphaerendruck.

Wenn jetzt der Versuch in Gang gesetzt wird, so wird der Druck im Saugraum negativ, indem er etwas unter dem äusseren Luftdruck herabsinkt. Diese kleine Druckverminderung ist an die Verdünnung der eingeschlossenen Luft durch den Austritt von Quecksilber aus dem Saugraume gebunden, sie ist im Anfang des Versuches am grössten und nimmt im Verlaufe allmählich ab, bis sie mit Abschluss des Versuches verschwindet Im Beginn des Versuches wird ein Theil der unter dem Quecksilberdruck in das Rohr eintretenden Flüssigkeit dazu verwendet, das Rohr auszudehnen, und dadurch wird gleich anfangs der Raum im Inneren des Circulationssystemes etwas erweitert. Die hierbei entstehende Verdünnung der Luft im Saugraume und in der Trommel bewirkt ein Ueberwiegen des äusseren Luftdruckes, welche das Trommelfell eindrückt, bis dessen nach aussen gerichtete Spannung gross genug geworden ist, um den Unterschied auszugleichen: auf diese Weise bildet sich eine Saugspannung und der Druck im Inneren des Saugraumes wird negativ. Mit dem Sinken der Quecksilberhöhe im Laufe des Versuches nimmt die Ausdehnung des Rohres allmählich ab, und mit ihr verschwindet auch die Saugspannung.

Bei diesem Vorgange tritt eine unbedeutende, etwa 1 Secunde betragende Verlangsamung des Fliessens ein. Den Ursprung dieser Verlangsamung muss man, da eine gleichzeitige Verminderung des Gefälles nicht stattfindet, darin suchen, dass die ganze Länge des Rohres von Aussen unter dem Atmosphaerendruck steht, und deshalb stärker gedrückt wird als seine Mündungen. Dadurch muss das Rohr im unteren Theile etwas verengt, im oberen an seiner vollen Ausdehnung verhindert werden, Anfangs stärker und im Laufe des Versuches abnehmend, wodurch die geringe Verzögerung veranlasst wird.

Der Versuch zeigte, dass im Beginne des Fliessens im Saugraum sich eine Druckverminderung von $0 \cdot 8^{\mathrm{cm}}$ entwickelte, und um so viel hatte also auch am Eingange des Rohres der Seitendruck abgenommen, den wir anstatt zu $12 \cdot 2$ nun zu $11 \cdot 4$ annehmen können. Im Manometer m zeigte die Beobachtung einen Druck von $9 \cdot 6^{\mathrm{cm}}$, im Manometer m' den Druck von $1 \cdot 0^{\mathrm{cm}}$, an beiden Stellen also eine Verminderung von $0 \cdot 8^{\mathrm{cm}}$. An der Ausmündung des Rohres betrug der Druck nicht mehr 0, sondern $-0 \cdot 8$ und die vier Ordinaten waren also:

$$11 \cdot 4 \qquad 9 \cdot 6 \qquad 1 \cdot 0 \qquad -0 \cdot 8$$

Die Linie der verbundenen Endpunkte läuft mit den früheren genau parallel und das Gefälle ist $9 \cdot 6 - 1 \cdot 0 = 8 \cdot 6$, dasselbe wie vorher.

Die Manometerstände von $9 \cdot 6$ und $1 \cdot 0$, welche wir im runden Rohre gefunden haben, weichen ab von den Ständen, welche wir bei offenem Saugraume gefunden hatten und zwar gerade so viel, als die Grösse der im Saugraume beobachteten Druckverminderung beträgt.

Wir können also hier die Werthe, welche wir bei Abwesenheit dieser Saugspannung erhalten haben würden, herstellen und die Wirkung der Saugtrommel ausschliessen, wenn wir von den abgelesenen Manometerständen die negative Druckgrösse, die im Saugraume herrscht, abziehen, oder was dasselbe ist, wenn wir deren Betrag mit dem + Zeichen den Ablesungen hinzufügen; wir erhalten so den

Seitendruck bei m $9 \cdot 6 + 0 \cdot 8 = 10 \cdot 4$
„ „ m' $1 \cdot 0 + 0 \cdot 8 = 1 \cdot 8$
Gefälle $8 \cdot 6$

Obgleich das Gefälle sich nicht geändert hatte, so entstand doch, wie schon erwähnt, eine Verlangsamung des Fliessens von 1 Secunde. Die Fliesszeit betrug 49 Secunden, während sie bei offenem Saugraume 48 Secunden betragen hatte.

Die auf diese Weise entstehende Saugspannung, welche ich als die vorübergehende Saugspannung bezeichnen will, tritt bei allen Versuchen auf, bei welchen die Saugtrommel mitwirkt, und sie muss immer dem beobachteten Drucke zugezählt werden, um den Seitendruck zu erhalten, wie er ohne diese Nebenwirkung der Saugtrommel gewesen sein würde.

Die vorübergehende Saugspannung nimmt ab mit der Vergrösserung der im Saugraume und der Trommel eingeschlossenen Luftmenge, sie nimmt zu, wenn man diese Luftmenge kleiner macht und die Zunahme beruht dann auf der verhältnissmässig stärkeren Verdünnung der in der Saugtrommel enthaltenen Luft durch die Erweiterung des Rohres.

Am stärksten wird sie, wenn man die Saugtrommel ganz weglässt und den Saugraum mit einem Kautschukstöpsel verschliesst, der das Manometer trägt, wobei man möglichst wenig Luft zurücklassen muss. Der

Versuch mit Weglassung der Trommel und Abschluss des Saugraumes hatte folgendes Ergebniss:

e	m	m'	n
7·8	6·0	—2·6	—4·4

und mit Hinzuziehung der vorübergehenden Saugspannung haben wir

$$\begin{array}{lrl} \text{Seitendruck bei } m & 6\cdot0 + 4.4 = & 10\cdot4 \\ \text{,, \quad ,, } m' & -2\cdot6 + 4\cdot4 = & 1\cdot8 \\ & \text{Gefälle} & 8\cdot6 \end{array}$$

Hier konnte die vorübergehende Saugspannung nicht durch die Saugtrommel entstehen, weil diese nicht vorhanden war, sondern sie wurde durch den Widerstand des zusammengedrückten runden Rohres erzeugt, welches schon bei m' nicht mehr über seinen natürlichen Umfang ausgedehnt wurde, es hatte in seinem unteren Theile eine nach Aussen gerichtete Spannung angenommen, die ein Negativwerden des inneren Druckes um 4·4 cm bewirkte. Trotz dieser bedeutenden Grösse des negativen Druckes musste die Raumverminderung im Rohre eine sehr geringe sein, da die Verlängerung der Fliesszeit bei einer Dauer von $50^1/_2$ Secunden nur $2^1/_2$ Secunden betrug. Dabei kommt allerdings in Betracht, dass die Raumverminderung im Rohre im Laufe des Versuches fortwährend abnimmt, allein immerhin spricht die geringe Verlängerung der Fliesszeit für eine beträchtliche Widerstandsfähigkeit des runden Rohres.

Versuch mit der Saugspannung von 2 cm Die seitherigen Versuche wurden ohne die Mitwirkung einer bleibenden Saugspannung angestellt. Führen wir nun eine solche in der Stärke von 2 cm ein, so sinkt der Stand des Manometers sowohl am Rohre, als über dem Saugraume um 2 cm, und der neue Gleichgewichtsstand ist nun in der Ruhe anstatt 0 überall — 2. Wird nun der Hahn geöffnet, so steigt in m und in m' das Quecksilber, während es über dem Saugraum in n durch die vorübergehende Saugspannung etwas fällt, und wir finden im Beginne des Fliessens:

Tabelle E.

	m	m'	n
Die Manometerstände . . .	7·4	—1·2	—3·0
Davon abgezogen der Stand des Gleichgewichts in Ruhe . .	—2·0	—2·0	—2·0
Bleibt Unterschied	9·4	0·8	—1·0

In dem Manometer bei m und bei m' war das Quecksilber vom Gleichgewichtsstande bei — 2 auf 7·4 und auf — 1·2 gestiegen, im Manometer bei n war es durch die vorübergehende Saugspannung um 1 cm unter diesen Stand gesunken. Wir erhalten, wenn wir die vorübergehende Saugspannung den Manometerständen zuzählen, die Seitendrucke:

Tabelle F.

Seitendruck bei m	7·4 + 1·0 =	8·4
„ „ m'	— 1·2 + 1·0 =	— 0·2
	Gefälle	8·6

Wenn die bewegende Kraft nicht durch das Sinken einer Quecksilbersäule, sondern wie im arteriellen Systeme durch Einpumpen der Flüssigkeit hervorgebracht würde, so würden dies die Werthe des auf die Wandungen wirkenden Seitendruckes sein. Dieser hat also gegen seinen Betrag bei dem Gleichgewichtsstande ohne Saugspannung, um die Grösse der Saugspannung, hier 2 cm, abgenommen.

Der Umfang des Rohres ist entsprechend kleiner geworden und dieser Vorgang würde die fühlbare Veränderung im Umfange der Arterien erklären, wie sie in den Luftschachten bei den höheren Luftdrucken beobachtet worden ist.

Die treibenden Kräfte. Anders verhält es sich mit den treibenden Kräften oder den im Rohre auf das Fliessen wirksamen Druckhöhen. Während diese vor Anwendung der Saugspannung gleich den Seitendrucken waren, so müssen wir sie von diesen jetzt trennen. Die Seitendrucke geben die Druckhöhen an, um welche der höchste Druck im Inneren des Rohres den Atmosphaerendruck übertrifft, die auf das Fliessen wirkenden Druckhöhen aber sind die Unterschiede der beobachteten höchsten Drucke von dem Gleichgewichtsstande im Rohre. Dieser hatte ohne Saugspannung ebenfalls den Atmosphaerendruck zur Grundlage, nach Einführung der Saugspannnung aber liegt er unterhalb des Atmosphaerendruckes. Die wirksamen Druckhöhen sind also um den Betrag der Saugspannung grösser, als die beobachteten Seitendrucke, sie waren in unserem Versuche:

Tabelle G.

Treibende Kraft bei m	9·4 + 1·0 =	10·4
„ „ „ m'	0·8 + 1·0 =	1·8
	Gefälle	8·6

und das Gefälle sowohl wie die treibenden Kräfte sind also auch hier die gleichen wie in dem runden Rohre ohne Saugspannung. Trotzdem ver-

längerte sich die Fliesszeit um ein Geringes, weil durch den Ueberdruck der äusseren Atmosphaere von 2 cm das Rohr in seinem oberen Theile an seiner stärkeren Ausdehnung verhindert, in seinem unteren in demselben Verhältniss zusammengedrückt, also gleichmässig verengt wird. Dadurch musste die Fliesszeit etwas verlängert werden, sie betrug $51\frac{1}{2}$ Secunden, mit der Verlängerung von $3\frac{1}{2}$ Secunden, worin die Wirkung der vorübergehenden Saugspannuug inbegriffen ist.

Versuch mit 5 cm Saugspannung. Ich habe auch noch die Bestimmung bei 5 cm Saugspannung gemacht, und die Seitendrucke betrugen dabei:

Tabelle H.

Seitendruck bei m	$4 \cdot 2 + 1 \cdot 2 =$	$5 \cdot 4$
„ „ m'	$-4 \cdot 4 + 1 \cdot 2 =$	$-3 \cdot 2$
	Gefälle	$8 \cdot 6$

Die wirksamen Druckhöhen waren

Treibende Kraft bei m	$9 \cdot 2 + 1 \cdot 2 =$	$10 \cdot 4$
„ „ „ m'	$0 \cdot 6 + 1 \cdot 2 =$	$1 \cdot 8$
	Gefälle	$8 \cdot 6$

und diese hatten also die gleichen Werthe wie früher. Die Fliesszeit betrug $53\frac{1}{2}$ Secunden mit einer Verlängerung um $5\frac{1}{2}$ Secunden, mit Einschluss der Wirkung der vorübergehenden Saugspannung.

Reihe II. Versuche mit Anfügung des Venenschlauches.

Wenn wir seither am gleichmässig runden Rohre noch keine Aenderung des Gefälles bei Anwendung der Saugspannung bemerkt haben, so tritt diese hervor, wann der Venenschlauch mit dem Rohre verbunden wird. Dieser hatte 25 cm Länge und war durch ein Röhrchen von etwa $3\frac{1}{2}$ mm Weite mit dem runden Rohre verbunden, welches 3 mm Weite besass. Die Weite der Ausflussöffnung war die gleiche wie vorher, etwa 4 mm. Durch die Verlängerung der Strombahn hätte hier das Gefälle etwas abnehmen sollen und die Druckhöhen in den Manometern mussten etwas zunehmen. Wir finden auch eine Erhöhung der Druckwerthe bei m und bei m' um $0 \cdot 2$ cm, allein der Unterschied oder das Gefälle im runden Rohre hat sich nicht sichtlich verändert und der Seitendruck hatte also in der ganzen Länge des Rohres gleichmässig zugenommen. Die Seitendrucke waren bei offenem Saugraume:

Seitendruck bei m	$10 \cdot 6$
„ „ m'	$2 \cdot 0$
Gefälle	$8 \cdot 6$

Die Zeit des Fliessens hatte sich durch Anfügung des Venenschlauches, der wegen seiner grösseren Weite weniger Widerstand bot, als ein gleich langes Stück des anderen Rohres gethan haben würde, um eine Secunde verlängert, sie betrug 49 Secunden.

Die Wiederholung des Versuches mit Hinzufügung der Saugtrommel, aber ohne Saugspannung, gab abermals eine kleine Erhöhung der Werthe bei m und bei m', veränderte aber den Unterschied zwischen diesen Werthen ebenfalls noch nicht

Seitendruck bei m	$10 \cdot 0 + 0 \cdot 7 =$	$10 \cdot 7$
„ „ m'	$1 \cdot 4 + 0 \cdot 7 =$	$2 \cdot 1$
	Gefälle	$8 \cdot 6$

Die Fliesszeit verlängerte sich hierbei abermals um eine Secunde und stieg auf 50 Secunden.

Ich lasse jetzt die Bestimmung der treibenden Kraft bei drei verschiedenen Graden der Saugspannung folgen. Schon bei der Saugspannung von 1 cm sehen wir an der Verminderung des Gefälles im runden Rohre, dass der Abfluss aus diesem durch den Venenschlauch stärker erschwert sein musss, und mit der auf 2 und auf 5 cm zunehmenden Saugspannung tritt dies in einer stärkeren Abnahme des Gefälles immer deutlicher hervor. Um einen Maassstab zu geben, stelle ich das Gefälle bei offenem Saugraume den Beobachtungen voraus.

Tabelle J.

Saugspannung	0	1	2	5
Treibende Kraft bei m	10·6	10·0 + 1·0 = 11·0	9·6 + 1·6 = 11·2	9·6 + 2·2 = 11·8
Treibende Kraft bei m'	2·0	1·6 + 1·0 = 2·6	2·4 + 1·6 = 4·0	4·6 + 2·2 = 6·8
Gefälle	8·6	8·4	7·2	5·0

Die Zunahme der Fliesszeiten entspricht der starken Abnahme des Gefälles, sie betrugen in Secunden:

Saugspannung:	0	1	2	5
	49	$54^1/_2$	$61^3/_4$	95

Eine Vergleichung der treibenden Kräfte zeigt, dass durch den gehemmten Abfluss die Flüssigkeit im runden Rohre gestaut wird und zwar ist die Anstauung im unteren Ende des Rohres bei m' stärker, als im oberen bei m, woraus sich die Abnahme des Gefälles ergiebt.

Die Seitendrucke der Flüssigkeit auf die Wandungen des Rohres werden durch die Anstauung im Rohre nicht unbedeutend erhöht, wenn man sie mit den entsprechenden Ständen in der Reihe I, ohne Venenschlauch, vergleicht und sie behaupten im unteren Theile bei m' die gleiche oder nahezu die gleiche Höhe wie ohne Saugspannung.

Die folgenden Zahlen, welchen ich die entsprechenden der Reihe I voranstelle, geben die beobachteten Seitendrucke, wie sie mit der Correction für die vorübergehende Saugspannung erscheinen:

Tabelle K.

Saugspannung	0	1	2	5
I. Seitendruck bei m	10·4	—	8·4	5·4
„ „ m'	1·8	—	—0·2	—3·2
Gefälle	8·6		8·6	8·6
II. Seitendruck bei m	10·6	10·0	9·2	6.8
„ „ m'	2·0	1·6	2·0	1·8
Gefälle	8·6	8·4	7.2	5·0

Reihe III. Versuche mit der capillaren Spitze und dem Venenschlauch.

Mit der capillaren Spitze, welche an der Uebergangsstelle zwischen dem runden Rohre und dem Venenschlauche angebracht wurde, nahm das Gefälle schon ohne Saugspannung stark ab, indem der Manometerstand im unteren Theile des Rohres bei m' stärker zunahm als im oberen bei m. Bei offenem Saugraume und mit der Trommel ohne Saugspannung wurden folgende wirksame Druckhöhen erhalten:

	Offener Saugraum.	Trommel ohne Spannung.
Treibende Kraft bei m	11·2	10·4 + 0·9 = 11·3
„ „ „ m'	6·0	5·2 + 0·9 = 6·1
Gefälle	5·2	5·2

Das Gefälle hatte also, durch Einsetzung der Spitze, von 8·6 auf 5·2 oder um etwa 40 % abgenommen, die Dauer des Fliessens betrug bei offenem Saugraume 69 Secunden, mit der Trommel 70 Secunden, in beiden Fällen 20 Secunden mehr als ohne Spitze. Einen etwa gleich grossen Unterschied von den entsprechenden Stellen der Reihe II zeigten die Fliesszeiten bei verschiedenen Graden der Saugspannung und die durch die Spitze hervorgebrachte Verzögerung des Abflusses blieb also auch bei zunehmender Saugspannung unverändert die gleiche. Die wirksamen Druckhöhen, welchen ich die beobachteten Seitendrucke und die Fliesszeiten anreihe, waren folgende:

Tabelle L.

Saugspannung	0	1	2	5
Treibende Kraft bei m	11·2	10·2+1·0=11·2	10·0+1·6=11·6	10·0 + 2·2=12·2
Treibende Kraft bei m'	6·0	5·2+1·0= 6·2	5·2+1·6= 6·8	6·0 + 2·2= 8·2
Gefälle	5·2	5·0	4·8	4·0
Seitendruck bei m	11·2	10·2	9·6	7·2
Seitendruck bei m'	6·0	5·2	4·8	3·2
Gefälle	5·2	5·0	4·8	4·0
Fliesszeiten	69	74½	82½	116

Die Zunahme der Stauung erfolgte bei m in einem, im Ganzen ähnlichen Verhältnisse, wie in der Reihe II, bei m' in geringerem Verhältnisse und deshalb zeigten die Seitendrucke im unteren Theile des Rohres einen stärkeren Abfall als dort (vgl. Tabelle K).

Abnahme des Seitendruckes.

Wollen wir uns Rechenschaft geben, wie die Abnahme des Seitendruckes auch im Fliessen durch die Saugspannung zu Stande kommt, während doch die Höhe der Quecksilbersäule oder die Kraft des Quecksilberdruckes die gleiche geblieben ist, so müssen wir von der Druckverminderung im Saugraume und in den Rohren ausgehen, in Folge deren der äussere Luftdruck stärker wird als der Druck im Inneren des Circulationsapparates. Nehmen wir an, die Saugspannung betrage 2 cm, so würde nach hergestelltem Gleichgewichte der Druck im Inneren des ganzen Systems 2 cm weniger betragen, als der Luftdruck, er wäre also beispielsweise 74 cm, wenn der Luftdruck 76 cm ist. Man bezeichnet diesen Unterschied gewöhnlich als einen negativen Druck von 2 cm.

Wenn man widerstandslose Rohre voraussetzt, die von dem Luftdrucke vollständig zusammengepresst werden, so würde jetzt eine im Inneren des Saugraumes auf die Flüssigkeit wirkende Kraft, die kleiner wäre als 2 cm, den Austritt von Flüssigkeit in das Rohr nicht bewirken können. Es würde erst dann Flüssigkeit in das Rohr eintreten, wenn diese Kraft die Grösse von 2 cm überschritten haben würde, denn der äussere Ueberdruck, der das Rohr zusammenzupressen und den Inhalt zurückzudrängen strebt, würde einem inneren Drucke von 2 cm das Gleichgewicht halten. Es würde also nur so viel Flüssigkeit in das Rohr eintreten können, als dem Ueberschusse der wirksamen Kraft über 2 cm entspricht, und diese Menge würde das Rohr weniger stark ausdehnen, als wenn die 2 cm mitwirken könnten.

Vielleicht wäre das folgende Beispiel geeignet, die Sache zu verdeutlichen. Nähme in einem bestimmten Falle durch die Saugspannung der negative Druck im Saugraume so sehr zu, dass er der Kraft gleichkäme, welche die Flüssigkeit herauszutreiben strebt, so würde dann Nichts mehr aus dem Saugraum austreten können.

In unserem Apparate ist die bewegende Kraft im Augenblicke der Oeffnung des Hahnes gleich einer Quecksilbersäule von etwa 13·2 cm Höhe. Um einen dieser Kraft gleichen negativen Druck herzustellen, machen wir nun den Apparat durch Anfüllung der oberen Kugel mit Wasser luftleer und verschliessen die Oeffnung mit einem Kautschukstöpsel.

Die Einmündung des Rohres in den oberen Theil des Saugraumes bei a' (Fig. 1) verschliessen wir, indem wir dort das Rohr mit zwei Fingern

zusammendrücken, weil dessen stark elastische Wandung dem atmosphaerischen Ueberdrucke widerstehen würde. Wenn wir jetzt den Hahn öffnen, würde bei offenem Saugraume das Manometer bei *m* den Druck von 12·2 cm anzeigen (vgl. S. 260), aber unter den gegebenen Verhältnissen zeigt das Manometer bei *m* nicht die geringste Bewegung.

In diesem Falle ist der Druck im Inneren auf die Wandungen des Saugraumes gerade um die wirksame Höhe der Quecksilbersäule kleiner, als der äussere Luftdruck. Da aber dieser Unterschied die Wirkung der Saugspannung bedingt, so wäre hier die Saugspannung so stark geworden, wie die treibende Kraft. Obgleich der Weg offen und die Kraft vorhanden ist, so kann doch keine Flüssigkeit in das Rohr eintreten, weil der äussere Ueberdruck das Quecksilber im Saugraum zurückhält. Wir verstehen hieraus, dass der Seitendruck im Rohre sinken muss, sobald die Saugspannung zunimmt, weil die ausdehnende Kraft um die Grösse dieser Zunahme vermindert wird, und dass der Umfang des ausgedehnten Rohres dabei abnehmen muss.

Der Rauminhalt, welchen das runde Rohr im nicht ausgedehnten Ruhezustande besitzt, wird, wie die Versuche der Reihe I gezeigt haben, durch den Ueberdruck der Atmosphaere nur soweit vermindert, als dessen elastische Widerstandskraft nicht im Stande ist, den Ueberdruck abzuhalten.

Ich möchte noch auf einen scheinbaren Widerspruch zurückkommen, der sich daraus ergeben könnte, dass der Seitendruck oder die ausdehnende Kraft im Rohre mit steigender Spannung abnimmt, während wir doch fanden, dass die Kraft, welche wir die treibende genannt haben, im runden Rohre sich auch nach Einführung der Saugspannung gleich blieb, und, bei Anwendung des Venenschlauches, durch Stauung sogar noch zunahm, da doch die beiden Kräfte in demselben Quecksilberdruck beruhen.

Allein es ist kein Widerspruch vorhanden, denn diese beiden Bezeichnungen beziehen sich auf ganz verschiedene Grundlagen. Die ausdehnende Kraft oder der Seitendruck ist immer der Ueberschuss des im Inneren wirkenden Druckes über den Atmosphaerendruck, denn nur der Ueberschuss des Druckes bewirkt die Ausdehnung Die wirksame Druckhöhe dagegen, welche die Stromgeschwindigkeit beherrscht, ist die Höhe des Seitendruckes über dem erniedrigten Gleichgewichtsstand im Inneren des Systems, und diese giebt immer die Grösse der treibenden Kraft.

Das Circulationssystem ist durch die Wandungen des Saugraumes und der Rohre von dem äusseren Luftdrucke abgeschlossen und bildet ein Drucksystem für sich, in welchem der Druck auf den Inhalt überall gleich ist, und in welchem deshalb der Einfluss der Quecksilberhöhe auf die Bewegung der Flüssigkeit zur Geltung kommt, so lange die Wandungen widerstandsfähig genug sind, um den äusseren Ueberdruck zu tragen und so den

Querschnitt der Rohre offen zu erhalten. Ist dies nicht der Fall, dann wird die elastische Leitung durch den äusseren Ueberdruck entweder im Ganzen gleichmässig verengt, wie das runde Rohr, oder sie wird in einem schwächeren Abschnitt wie der Venenschlauch stärker zusammengedrückt, bis auch dessen zunehmende Spannung dem Ueberdrucke das Gleichgewicht hält. Es ist noch ein dritter Fall möglich, nämlich, dass am Ende der Leitung, im Venenschlauche, der Widerstand der Wandung nicht ausreichte den ganzen Ueberdruck zu tragen, sondern nur einen Theil desselben, während der Seitendruck der Flüssigkeit schon stark abgenommen hat. Es würde dann die Stauung vor dem Hinderniss sich so lange verstärken, bis sie im Verein mit dem Widerstande der Wandung zur Ueberwindung der Verengung die nöthige Kraft gewonnen hatte: Dieser Fall scheint bei unseren Versuchen, wenigstens unter den höheren Graden der Saugspannung, obzuwalten.

Wenn die allgemeine Verengung, wie am runden Rohre, geringfügig ist, nimmt die Geschwindigkeit des Fliessens nur unbedeutend ab, sie vermindert sich aber stark wenn die Strombahn an einer Stelle stärker verengt wird. Die Verlangsamung des Fliessens steht in unserem Versuche, wie wir später sehen werden, in einem bestimmten Verhältnisse zu dem der Saugspannung gleichen Ueberdrucke der Atmosphaere.

Bei dem von mir für die Versuche benutzten Venenschlauche war dessen Widerstandskraft eine sehr schwache und es kam bei starkem Ueberdrucke von 5 und 6 ^{cm} vor, dass der Eingang des Abflussröhrchens, welches den Venenschlauch mit dem Saugraume verband, verlegt wurde, indem die Wandung des Schlauches sich darüber legte und durch den Ueberdruck festgehalten wurde; dann kam die Circulation zum Stillstand. Ich konnte dies aber verhüten, indem ich dicht neben dem Röhrchen ein kurzes Stück einer vierkantigen Kautschukschnur einlegte, welches den klappenartigen Verschluss verhinderte.

Wurde ein stärkerer Venenschlauch genommen, dann trat ein derartiger Verschluss nicht ein, auch wurde die Circulation weniger stark verlangsamt. Man sieht hieraus, dass auch im grossen Kreislaufe die stärkere oder schwächere Beschaffenheit der Blutgefässe auf die Geschwindigkeit der Circulation und auf das deutliche Hervortreten einer Wirkung der Saugspannung überhaupt, von Einfluss sein müsse.

Der Widerstand, welchen der Ueberdruck der Athmosphaere dem Strome entgegensetzt, unterscheidet sich von dem Widerstande, den ein einfaches mechanisches Hinderniss bieten würde, dadurch, dass er sich mit der Saugspannung verändert, während die Verzögerung, welche ein mechanisches Hinderniss bewirkt, von der Saugspannung, wie wir gleich sehen werden, unberührt bleibt.

Verhältniss der Stärke der Saugspannung zu den Fliesszeiten.

Um den Einfluss der Grösse der Saugspannung auf die Geschwindigkeit des Stromes genauer kennen zu lernen, beobachtete ich, sowohl bei der Zusammenstellung der Reihe II mit dem Venenschlauch, als bei der Zusammenstellung der Reihe III mit Schlauch und capillarer Spitze, die Fliesszeiten für Saugspannungen, welche von 1 bis zu 5 und 6 ^{cm} zunahmen.

Einige dieser Ergebnisse sind schon mitgetheilt, ich füge jetzt die übrigen hinzu.

Die Zählungen wurden für jede Versuchsreihe hintereinander vorgenommen, um genau die gleichen Umstände beizubehalten, und einzelne wurden wiederholt gemacht. Von diesen, wenn sie verschieden waren, wurde das Mittel genommen. Ich stelle die Ergebnisse der drei Versuchsreihen untereinander, indem ich immer die Fliesszeit bei offenem Saugraume voranstelle.

Tabelle M.

Saugspannung in Cm:	0	1	2	3	4	5	6
Fliesszeit in Secunden I:	48	—	$51^1/_2$	—	—	$53^1/_2$	—
„ „ „ II:	49	$54^1/_2$	$61^3/_4$	$71^1/_2$	82	95	112
„ „ „ III:	69	$74^1/_2$	$82^1/_2$	$91^1/_2$	$103^3/_4$	116	—

In diesen Reihen konnte die Wirkung der vorübergehenden Saugspannung nicht ausgeschlossen werden, da die kleine Verlängerung der Fliesszeit, welche sie bewirkt, so nahe mit unseren Fehlergrenzen zusammenfällt, dass die benutzten Instrumente eine sichere Bestimmung ihrer Werthe nicht gestatteten.

Sie würden nur bei den kleinen Unterschieden der Reihe I in's Gewicht fallen, übrigens an dem aus dem Verhältnisse dieser Werthe zu einander zu ziehenden Schlusse nichts ändern.

Man bemerkt in der Reihe I, dass die Zunahme der Fliesszeit zwischen den Spannungen 0 und 2 stärker ist, als zwischen 2 und 5, woraus man schliessen dürfte, dass der Widerstand des gleichmässig runden Rohres gegen das Zusammendrücken mit dem zunehmenden Ueberdrucke ebenfalls zunahm; der Querschnitt des Rohres wurde daher anfangs am stärksten, später für die gleiche Zunahme des Ueberdruckes in geringerem Verhältnisse verkleinert.

In der II. und III. Reihe ist die Zunahme der Verzögerung viel stärker und sie wächst in grösserem Verhältnisse, als der Ueberdruck. Die in der III. Reihe, durch Einführung der capillaren Spitze gegenüber

der II. Reihe bewirkte Verlangsamung war durch alle Stufen der Saugspannung oder des Ueberdruckes, wie schon erwähnt, die gleiche, indem die Fliesszeiten in der III. Reihe jedesmal 20 bis 21 Secunden länger waren, als bei der gleichen Saugspannung in der II. Reihe. Dieses Verhalten ist nach zwei Richtungen von Bedeutung: erstens zeigt es, dass ein mechanisches Hinderniss eine unter allen Spannungen gleichbleibende Verzögerung bewirkt, und dies gestattet uns, eine Beobachtungsreihe, deren Controle, durch die Fliesszeit bei offenem Saugraume vor- und nachher, das Vorhandensein eines unbedeutenden mechanischen Hindernisses in der Strombahn anzeigt, auf eine andere Beobachtungsreihe zu reduciren.

Zweitens erlaubt uns dies Verhalten den Schluss, dass in beiden Reihen die Verlangsamung des Fliessens durch die Saugspannung dem gleichen Gesetze unterliegt, welches wir am besten aus den Ergebnissen der II. Reihe ableiten können. Nehmen wir den Unterschied zwischen zwei

	0	1	2	3	4	5	6
II.	49	$54^1/_2$	$61^3/_4$	$71^1/_2$	82	95	112
A.	—	$5^1/_2$	$7^1/_4$	$9^3/_4$	$10^1/_2$	13	17

Gliedern, so erhalten wir eine zweite Reihe A, welche einfacher fortschreitet, indem sich ihre einzelnen Glieder bis zum fünften durchschnittlich um die Zahl 2 von einander unterscheiden, wenn wir von einzelnen, durch die unvermeidlichen Beobachtungsfehler bedingten Abweichungen absehen wollen. Nehmen wir die Zahl 2 als feststehenden Unterschied an und corrigiren danach die zuletzt erhaltene Reihe A, so würde diese lauten

	0	1	2	3	4	5	6
A. corr.	—	$5^1/_2$	$7^1/_2$	$9^1/_2$	$11^1/_2$	$13^1/_2$	$15^1/_2$
B.	—	—	2	2	2	2	2

und wenn wir mit Hilfe der so hergestellten Glieder die Reihe II berechnen, so erhalten wir folgende Zahlen:

	0	1	2	3	4	5	6
II. berechnet	49	$54^1/_2$	62	$71^1/_2$	83	$96^1/_2$	112
gefunden	49	$54^1/_2$	$61^3/_4$	$71^1/_2$	82	95	112

Wir sehen, dass der berechneten Reihe nur drei Glieder von den gefundenen abweichen, und die Abweichung überschreitet nicht die gleich anfangs festgestellte Fehlergrenze von $1^1/_2$ Secunden. Dies erlaubt uns, die berechneten Werthe von II als die richtigen hinzustellen. Es lässt sich nun das Gesetz bestimmen, welches der Bildung dieser Reihe zu Grunde liegt, und welches die Berechnung der einzelnen Glieder möglich macht.

Wenn wir mit y die Fliesszeiten und mit x die Saugspannung, oder den Ueberdruck der äusseren Atmosphaere, bezeichnen, so wird dieses Gesetz ausgedrückt durch die Gleichung

$$y = x^2 + 4 \cdot 5\,x + 49.$$

Um die Reihe III zu erhalten, fügen wir jedem der berechneten Glieder der Reihe II die Zahl 20 hinzu, und bekommen

	0	1	2	3	4	5
III. berechnet	69	$74^1/_2$	82	$91^1/_2$	103	$116^1/_2$
III. gefunden	69	$74^1/_2$	$82^1/_2$	$91^1/_2$	$103^3/_4$	116

eine Reihe, die fast genau mit der gefundenen übereinstimmt. Die Formel für die Berechnung der Reihe III ist ganz die gleiche, wie für die Reihe II, indem nur die Constante sich ändert:

$$y = x^2 + 4 \cdot 5\,x + 69.$$

Die Gleichungen zeigen, dass die Verlängerung der Fliesszeit, als eine Function der bleibenden Saugspannung, oder des Ueberdruckes der äusseren Atmosphaere angesehen werden muss. Der Coefficient von x würde sich etwas ändern, wenn wir den unbedeutenden Einfluss der vorübergehenden Saugspannung auf die Fliesszeit ausschliessen könnten, allein die allgemeine Form des Gesetzes würde dadurch wahrscheinlich nicht berührt werden, weil aus den Angaben der wirksamen Druckhöhen der Tabellen J und L hervorgeht, dass die Grösse der vorübergehenden Saugspannung ebenfalls zum Theile eine Function des Ueberdruckes ist, mit welchem sie etwas zunimmt.

Maassgebend für die Grösse der Verlangsamung des Fliessens bleibt neben dem Ueberdrucke hauptsächlich auch der grössere oder geringere Widerstand, welchen der Venenschlauch dem Ueberdrucke entgegensetzen kann.

Druckverminderung im arteriellen System unter dem erhöhten Luftdrucke.

Unsere Versuche haben die Gesetzmässigkeit einer Verminderung des Seitendruckes in den Rohren nachgewiesen, sobald die auf das Circulationssystem wirkende Saugspannung zunimmt. Auch im arteriellen System finden wir die Wirkung dieses Gesetzes ausgeprägt, wenn die saugende Spannung der Lungen durch deren Ausdehnung bei der Einathmung grösser wird. In derselben Weise dürfte man eine Verminderung des arteriellen Druckes jedesmal dann erwarten, wenn unter dem bleibend er-

höhten Luftdrucke sich die Ausdehnungsstellung der Lungen durchschnittlich etwas erweitert.

Eine solche ist in der That in der pneumatischen Kammer von mehreren Forschern beobachtet worden. Zuerst machte J. Lange in Uetersen in Gemeinschaft mit Prof. Dr. Hensen aus Kiel eine Beobachtung mit dem Haemodynamometer, welche er in seiner Schrift „Die comprimirte Luft u. s. w.“ Göttingen 1864 mitgetheilt hat. Sie fanden an der Carotis eines Hundes, dass der Blutdruck unter dem erhöhten Lnftdruck erniedrigt werde; Zahlen sind jedoch nicht angegeben.

v. Vivenot (a. a. O. S. 384) machte einige Bestimmungen an Hunden mit dem Kymographion, die jedoch zu keinem bestimmten Ergebnisse führten. Panum in Kopenhagen machte in derselben Weise zwei Bestimmungen an Hunden und fand, indem er die Manometerstände nur bei ruhigem Verhalten der Thiere als maassgebend verglich, dass der Blutdruck unter dem erhöhten Luftdrucke abgenommen hatte, und dass er nach Herstellung des gewöhnlichen wieder zunahm. (Pflüger's *Archiv*, I, 162.)

Später fand Paul Bert[1] unter dem verstärkten Luftdrucke im Gegentheile eine Erhöhung des Blutdruckes an zwei Hunden und er theilt die Zeichnungen der dabei unter beiden Luftdrucken erhaltenen Curven mit. Diese zeigen aber unter dem erhöhten Luftdrucke zugleich ausnehmend starke Respirationsbewegungen, bei aussergewöhnlich grosser Verlangsamung des Athmens an, wie sie im Normalzustande unter keinem von beiden Drucken vorkommen, und man muss daraus auf ein ungewöhnliches Verhalten der Thiere schliessen, wodurch die Versuche zur Entscheidung der Frage ungeeignet erscheinen. Nach einer anderen Methode an Hunden fand Cyon,[2] dass der Blutdruck, unter Erhöhung des Luftdruckes auf zwei und drei Atmosphaeren, besonders zwischen der zweiten und dritten Atmosphaere stark abnahm. Die Versuche sind jedoch in einer Weise angestellt, welche das normale Verhalten der Hunde sehr fraglich lässt, und sind daher auch nicht entscheidend.

Lazarus machte im October 1877 in Berlin Bestimmungen an Hammeln, nach Setchenow's Methode, von welchen er in der Zeitschrift für practische Medicin 1878 eine mittheilt. Danach stieg der Blutdruck, so lange der Luftdruck im Steigen begriffen war, von 67 auf 71^{mm}. Als dann die bleibende Druckhöhe von 32^{cm} Ueberdruck erreicht war, begann der Blutdruck zu sinken und setzte dies auch in der Zeit des abnehmenden Luftdruckes noch fort. Kurz vor Herstellung des normalen Luftdruckes hatte er mit 65^{mm} einen geringeren Stand erreicht als

[1] *La Pression atmosphérique.* Paris 1878.

[2] *Dies Archiv.* 1883. Supplementband.

vor Beginn des Versuches, und mit dem Eintreten des normalen Luftdruckes nahm der Blutdruck seine anfängliche Grösse von 67 ^{mm} wieder an.

Zwölf Bestimmungen, welche Zadeck mit einem Basch'schen Apparate zur Bestimmung des Blutdruckes am Radialpulse an fünf Personen in der pneumatischen Kammer ausführte,[1] ergaben in vier Fällen keine wesentliche Aenderung. In acht Fällen stieg der Blutdruck während des zunehmenden Luftdruckes bis zur Erreichung der gleichbleibenden Druckhöhe, und in sechs von diesen fing der Blutdruck mit Erreichung dieser Höhe, oder während ihrer Dauer wieder an zu fallen, in drei unter den Anfangswerth, in dem siebenten fiel er und stieg später wieder, in dem achten blieb er auf der erreichten Höhe.

Als der Luftdruck im Sinken begriffen war, fiel der Blutdruck bei Allen, und war zuletzt bei zwei von ihnen niedriger als der Anfangswerth, den er bei den übrigen mit Herstellung des normalen Luftdruckes etwa in der vorigen Grösse wieder erreichte.

Wir haben hier in sieben Fällen von den acht, welche überhaupt eine Veränderung des Blutdruckes zeigten, eine Uebereinstimmung mit den Ergebnissen von Lazarus am Hammel, nämlich eine Zunahme des Blutdruckes unter dem steigenden Luftdrucke, dann beginnt er unter der bleibenden Druckerhöhung zu fallen und setzt dies bei den meisten unter dem sinkenden Luftdrucke fort.

Eine viel genauere Bestimmung finden wir in zwei Versuchen mit dem Plethysmographen, welche Mosso in seiner Arbeit *Dall' inspirazione del' aria compressa,* Turin 1877, mittheilt. Der Luftdruck wurde für den ersten Versuch um 76, für den zweiten um 80 ^{cm} erhöht und als Versuchsperson diente ein auf die Versuche mit dem Plethysmographen eingeübter, kräftiger junger Mann von 28 Jahren.

Das Ergebniss war beide Male das gleiche: in dem Augenblicke, in welchem die Druckerhöhung begann, trat ein kurzes Sinken des Blutdruckes ein, welcher aber sofort wieder zu steigen anfing und darin anhielt, bis die kurze Periode des bleibend erhöhten Luftdruckes eingetreten war. Im Beginn dieser Periode fing der Blutdruck wieder an zu sinken, und fiel unter seine ursprüngliche Höhe. Das Sinken setzte sich noch kurze Zeit fort, nachdem der Luftdruck angefangen hatte abzunehmen und in der übrigen Zeit des abnehmenden Luftdruckes verhielt sich der Blutdruck abwechselnd auf geringerer Höhe, bis er mit dem Eintreten des normalen Luftdruckes wieder eine anhaltend aufsteigende Bewegung annahm.

Dieser Beobachtung möchte ich das grösste Gewicht beilegen, weil sie

[1] *Zeitschrift für klinische Medicin.* Bd. II. 1881. S. 567.

unter den normalsten Verhältnissen und von einem bewährten, mit seiner Methode vertrauten Beobachter gemacht wurde. Der Blutdruck, welcher bis zur Erreichung der bleibenden Höhe des Luftdruckes zugenommen hatte, fängt mit oder nach dem Eintreten dieses Zeitpunktes an zu fallen und sinkt unter seinen Anfangswerth. Unter dem sinkenden Luftdrucke fällt er noch etwas stärker, bis er mit oder nach der Herstellung des normalen Luftdruckes seinen normalen Werth wieder gewinnt.

Wollen wir diese Ergebnisse mit den Beobachtungen an unserem Apparate vergleichen, so ist dabei zu berücksichtigen, dass die Bedingungen, welchen die Circulation im menschlichen Körper während der Zu- und Abnahme des Luftdruckes unterliegt, bei den Versuchen mit dem Apparate nicht vorgekommen sind. Der Apparat giebt die Verhältnisse während einer einzelnen Dehnung des elastischen Rohres, gleichsam während eines verlängerten Pulsschlages, nachdem der Ausgleich des Circulationssystems mit der Saugspannung und dem äusseren Ueberdrucke schon vollzogen ist. Wir können also nur die Stufe des gleichbleibend erhöhten Luftdruckes mit der Verstärkung der Saugspannung bei unseren Versuchen zum Vergleiche bringen, und wir finden unter dieser, übereinstimmend mit der Druckverminderung im Apparate, eine Erniedrigung des Blutdruckes.

Auf das Steigen des Blutdruckes unter dem zunehmenden, und auf sein weiteres Sinken unter dem abnehmenden Luftdruck werde ich im Folgenden zurückkommen.

Zusammenhang der Erscheinungen im Circulationssystem mit den verschiedenen Stufen des Luftdruckes.

Wenn ich den Versuch machen will, die hauptsächlichen Züge des unter den verschiedenen Stufen des Luftdruckes beobachteten Verhaltens des Pulses und des Blutdruckes, soweit dies möglich ist, mit Hilfe der mechanischen Veränderungen zu verfolgen, welche die stärkere Spannung einer erweiterten Lunge im Gefässsystem bewirkt, so muss die Mitwirkung des Nervensystems auf eine stärkere Zusammenziehung oder auf eine Erschlaffung der Arterien, wodurch der Elasticitätscoefficient verändert werden würde, dabei ausgeschlossen bleiben. Es wird eine, der normalen Pulsform entsprechende, gleich bleibende Elasticität vorausgesetzt, so wie sie die mitgetheilten Abbildungen der Pulscurven nachweisen.

Indem wir die Vorgänge unter den einzelnen Stufen, nämlich der Erhöhung des Luftdruckes, des gleichbleibenden und des fallenden Druckes, von einander trennen, betrachten wir zuerst die Verhältnisse

I. Unter dem ansteigenden Luftdrucke. Die Zunahme des Blutdruckes unter dem steigenden Luftdrucke wird verständlich, wenn man er-

wägt, dass, solange unter dem zunehmenden Luftdrucke auch die Lungenspannung zunimmt, die Venen und Capillaren wegen ihrer geringeren Widerstandskraft fort und fort stärker verengt werden als die Arterien, was den Abfluss aus dem arteriellen Systeme in jedem Augenblicke von Neuem erschweren und dadurch den Ausgleich verzögern muss.

In demselben Maasse entleert sich zugleich das Venensystem mehr und mehr, und es wird dadurch dem rechten Herzen mehr Blut zugeführt. Wenn auch dieses zum Theil in den Lungen zurückbleibt, so erhält doch unter solchen Umständen das linke Herz gewiss nicht weniger Blut, als vorher, eher mehr, und jeder Pulsschlag erneuert den Vorrath in den Arterien, ehe noch das von dem vorigen zugeführte Blut ganz ablaufen konnte, wobei die Verminderung der Frequenz noch nicht ausreicht die Ausgleichung herbeizuführen. Auf diese Weise könnte während des zunehmenden Luftdruckes eine Erhöhung des arteriellen Druckes entstehen.

Bei unserer Versuchsperson, Hrn. W. kam die in jedem Augenblicke zunehmende Verengung des Abflussweges aus den Arterien an den unter dem steigenden Luftdrucke erhaltenen Pulscurven zum Ausdrucke, indem diese grösser wurden als sie vorher unter dem gewöhnlichen Luftdrucke erhalten worden waren.

Das Auftreten einer Vergrösserung der Pulscurve durch Verengung des Abflussweges ist eine gewöhnliche Erscheinung, sie lässt sich an der Radialis nachweisen, wenn eine Abzweigung der Arterie über dem Handgelenke leicht unterdrückt werden kann. Waren die Curven vorher klein, so nehmen sie sofort in allen Richtungen an Grösse zu, wenn die Abzweigung durch den Fingerdruck verschlossen wird. Auch künstlich erzielt man am elastischen Rohre durch Verengung der Mündung jedesmal eine Vergrösserung der Curven. Abbildungen dieser beiden Entstehungsweisen habe ich in *diesem Archiv* 1883, Supplementband, Taf. IV, Figg. 85 — 87 mitgetheilt.

II. Unter dem gleichbleibend erhöhten Luftdrucke setzt sich die Verengung des Venensystems nicht weiter fort, und es wird aus dem in den Venen enthaltenen Vorrath kein Blut weiter abgegeben als der durch einen Pulsschlag den Venen zugeführten Menge entspricht.

Die Grösse der Pulscurve nimmt wieder Verhältnisse an, die sich von den normalen eigentlich nicht unterscheiden lassen. Wegen der Abnahme des Seitendruckes könnte man voraussetzen, dass sie kleiner werden würden, allein dem wirkt der Umstand entgegen, dass wir die Blutmenge sowohl, als die Kraft des Herzschlages als unverändert annehmen müssen. Es ist übrigens wahrscheinlich, dass unter einem bedeutend stärkeren

Luftdrucke, als wir ihn angewandt haben, die Aenderung im Blutdrucke sich in irgend einer Weise auch in der Pulscurve ausprägen würde.

Wenn wir voraussetzen, dass die Blutmenge und die Kraft des Herzschlages die gleiche sei, wie unter gewöhnlichem Luftdrucke, so würde eine Verlangsamung des Pulses in Folge der mechanischen Verhältnisse auftreten, welche in den Arterien die dauernde Verminderung des Blutdruckes in derselben Weise begleiten müssten, wie wir sie im Apparate, unter der Wirkung der Saugspannung und des Venenschlauches, beobachtet haben. Nachdem der Ausgleich einmal vollzogen ist, unterstützt die Verengung des Abflussweges aus den Arterien nicht länger das Auftreten einer anhaltenden Stauung mit Erhöhung des Blutdruckes, weil durch die Verstärkung des äusseren atmosphaerischen Ueberdruckes ein Theil der treibenden Kraft, nämlich der Spannung oder des Druckes im Anfangstheile der Aorta, im Gleichgewicht gehalten wird. Das Blut verweilt also länger in der Aorta thoracica, und dies müsste die Zusammenziehung des Herzens in mechanischer Weise verlangsamen, so dass der Puls nun träger werden würde, so wie es Vierordt für die Einathmung angiebt. Dadurch erhält der Inhalt eines vorangehenden Pulsschlages Zeit, die Arterie zu verlassen, ehe der folgende eintritt.

Die mit dem Pulse vorübergehende Stauung, welche die zunehmenden Werthe für die treibende Kraft in unseren Versuchen, Tabelle J und L, anzeigten, ist an den Pulscurven unter dem gleichbleibend erhöhten Luftdrucke vielleicht darin zu erkennen, dass sich die Curven häufig den Stauungsformen nähern. Bei solchen Formen liegt die Abflusserhebung (Rückstosserhebung) der Spitze näher als bei den normalen, und der untere Theil der Curven wird in der Höhe der Abflusserhebung etwas breiter. (Vgl. a. a. O. Figg. 80—83.)

Wo bleibt nun das dem grossen Kreislaufe durch die verstärkte Saugspannung entzogene Blut? Es gehört eine sehr geringe Menge von Flüssigkeit dazu, um in einem über sein normales Gleichgewicht gedehnten elastischen Rohre den Druck bemerklich zu ändern. Einige Tropfen, die man herausliess, bewirkten in dem Apparate, wenn der Saugraum verschlossen war, einen sichtlichen Unterschied im Manometerstande, und es ist deshalb eine verhältnissmässig unbedeutende Menge Blut, die dem arteriellen Systeme vorenthalten werden muss, um den Blutdruck so weit herabzusetzen, wie es z. B. bei der Einathmung (bei Thieren) geschieht.

In unserem Falle würde besonders die Blutmenge zu berücksichtigen sein, welche dem Venenensystem entzogen wird. Vergeblich haben die Aerzte gesucht, im Kopfe oder in anderen der Beobachtung zugänglichen Organen eine Vermehrung des Blutgehaltes symptomatisch nachzuweisen,

man fand im Gegentheile überall Zeichen einer Verminderung der Blutfülle und gelegentlich Rückbildung von Congestiv-Zuständen, wie z. B. Zahnschmerzen, die unter dem erhöhten Luftdruck häufig verschwinden.

Das Gegentheil findet bekanntlich unter stark vermindertem Luftdruck statt, in welchem die mittlere Ausdehnungsstellung der Lungen wahrscheinlich eine engere, und ihre Spannung dadurch schwächer wird. Die Venen und Capillaren der Haut sind dann stärker gefüllt und bluten stärker bei leichten Verletzungen und die Capillaren der Schleimhäute haben Neigung zu bersten. Auch im gewöhnlichen Leben erkennt man bei sitzender Lebensweise, bei welcher die Lungen durchschnittlich weniger stark ausgedehnt werden, die Folgen einer schwächeren Lungenspannung und verminderter Muskelthätigkeit in mannigfachen Beschwerden, welche mit venöser Stauung zusammenhängen.

Wir können, in Ermangelung jeder anderen Anzeige, den Ort der Unterkunft für das den Venen entzogene Blut nur in den Lungen selbst suchen, deren zu- und abführende Gefässe ja ebenfalls unter der Wirkung der Saugspannung stehen, während die Capillaren in den Alveolen zwar dem Ueberdrucke der äusseren Atmosphaere unterworfen sind, allein durch Ausgleichung ihrer Schlingen und Biegungen bei der Ausdehnung der Lungen, dennoch mehr Blut aufnehmen können als bei zusammengezogenen Lungen. Aeltere und neuere Arbeiten, unter welchem ich die von de Jager[1] hervorhebe, haben den experimentellen Beweis geliefert, dass die Lungen im ausgedehnten Zustande mehr Blut aufnehmen als im zusammengezogenen. Jeder Arzt hat bisweilen Gelegenheit zu beobachten, wie bei der Ausathmung das Blut sich in den Venen des Halses anhäuft, um den Lungen erst zugeführt zu werden, nachdem diese durch die Einathmung erweitert worden sind. Man hat keinen Grund zu besorgen, dass nun eine Ueberfüllung der Lungen mit Blut eintreten werde, da das Venensystem nur in dem Maasse entleert werden kann, in welchem die Ausdehnung der Lungen, durch welche ja die Verstärkung der Saugspannung erst bedingt wird, den Raum zur Aufnahme von Blut geschaffen hat.

III. Unter dem abnehmenden Luftdrucke geben die mitgetheilten Beobachtungen ein fortgesetztes Sinken des Blutdruckes an. Wenn der Luftdruck abnimmt, müssen sich die Veränderungen der Blutvertheilung, welche während des gleichbleibend hohen Druckes entstanden sind, wieder zurückbilden. Während dieser Uebergangszeit wird also der Raum im Venensysteme wieder erweitert und kann mehr Blut aufnehmen, welches er zum Theile zurückbehält, so dass dem Herzen mit jedem Pulsschlage

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXVII. S. 152.

etwas weniger Blut zugeführt wird als mit dem vorhergehenden. Zugleich erweitern sich die Abflusswege für die Arterien, wodurch dem Venensysteme ebenfalls etwas mehr Blut zufliesst und aus diesem Verhältnisse kann ein weiteres Sinken des arteriellen Blutdruckes hervorgehen, während sich die Venen allmählich wieder anfüllen.

Die Pulscurven, welche wir unter dem abnehmenden Luftdrucke erhalten haben, zeigen in dem Kleinerwerden der Curvenhöhe und in ihrer stärkeren Annäherung an die dicrote Form die Erleichterung und Beschleunigung des arteriellen Abflusses deutlich an.[1]

Mit Berücksichtigung der wieder eintretenden Füllung der Venen sollte man erwarten, dass bei Mosso's Versuchen mit dem Plethysmographen, der ja die Vorgänge der Ab- und Zunahme des ganzen Säftevorrathes im Arme angiebt, diese Füllung sich in einer Abnahme des Sinkens, wenn auch noch nicht in einem sofortigen Steigen der Curven angezeigt hätte. In der That steigt, kurz nachdem der Luftdruck begonnen hat zu fallen, die Curve des einen Versuches wieder an, während die des zweiten den erreichten tieferen Stand noch beibehält, also doch das Sinken unterbricht.

Ein sofort eintretendes Steigen der Curven wäre schon deshalb nicht zu erwarten, weil in der pneumatischen Kammer der Luftdruck in der ersten Zeit des Sinkens immer noch bedeutend höher ist als der gewöhnliche, und weil ausserdem das Verweilen unter dem erhöhten Luftdrucke gewöhnlich eine Nachwirkung hat, da die Lungenstellung nicht immer sogleich in ihren früheren Umfang zurückkehrt.

Die erneute Ansammlung von Blut in den Venen wird unter anderem auch durch das Wiedererscheinen von Gefässinjectionen bewiesen, die unter der Erhöhung des Luftdruckes verschwunden waren. Auch bei dem Uebergange vom höheren zum normalen Luftdrucke kann es vorkommen, dass das Venensystem überfüllt wird und dass Blutungen eintreten. Ein Beweis dafür ist das Nasenbluten, welches bisweilen auftritt, wenn man von einem hohen Drucke rasch abströmen lässt, wobei die Abwesenheit anderer Störungen die Entbindung von Luftblasen im Blut ausschliesst.

Die Erscheinungen am Pulse werden bei dem einen leichter, bei dem anderen weniger leicht zu erkennen sein, je nachdem die Venen und Capillaren gegen den geringen, durch die Saugspannung der Lungen erzeugten Ueberdruck der Atmosphaere widerstandsfähig sind. Um ein so unzweideutiges Auftreten zu bewirken, wie es bei Hrn. W. gefunden wurde, dazu gehört schon eine ausserordentliche Schwäche und Dünnheit der Gefässe. Das Auftreten oder Ausbleiben einer sichtbaren Veränderung

[1] Vergl. Ueber Ableitung einiger eigenthümlicher Pulsformen u. s. w. *Sitzungsbericht der Gesellschaft für Morphologie und Physiologie in München.* 1887.

in der Circulation überhaupt hängt von der Grösse der Einwirkung des erhöhten Luftdruckes auf die Lungen ab. Es giebt Personen, und diese scheinen die Mehrzahl zu bilden, bei welchen eine Wirkung augenblicklich eintritt, welcher bald auch eine Nachwirkung folgt. Bei Anderen, deren Athemzüge unter der gewöhnlich angewandten Druckhöhe nicht sofort an Grösse zunehmen, und bei welchen die Wirkung des Druckes sich nur in der Abnahme der mittleren Frequenz und in der gleichmässigeren Grösse der Athemzüge kundgiebt, dürfte es oft schwer sein, unter der geringen Druckerhöhung der pneumatischen Kammer dei Wirkung auf die Circulation in der Abnahme der Pulsfrequenz nachzuweisen.

Aenderung der Pulscurven während eines tiefen Athemzuges. Vergleicht man die hier besprochenen Vorgänge mit der Veränderung der Pulsformen während eines tiefen Athemzuges unter gewöhnlichem Luftdrucke, so findet man, dass die Abnahme und die Erhöhung des arteriellen Druckes dabei in umgekehrter Weise auftreten, als wie sie in den mitgetheilten Pulscurven zur Erscheinung kommen. Wir finden, dass hier die Curven grösser werden, während der Luftdruck in der Zunahme begriffen ist und die Lungenstellung allmählich weiter wird, und kleiner, wann die Lungen unter dem sinkenden Luftdrucke auf ihren früheren Umfang zurückkehren. Bei einem tiefen Athemzuge ist es umgekehrt. Die Curven werden kleiner bei der Ausdehnung der Lungen durch die Einathmung und grösser bei der Ausathmung.

Die Erklärung dieser Unterschiede liegt in folgenden Verhältnissen: Die Verkleinerung der Curven mit dem Athemzuge und die Abnahme des arteriellen Druckes fällt nur auf den Anfang der Einathmung; in ihrem Verlaufe nimmt die Curvenhöhe und der Druck wieder zu. Dann folgt im Beginne der Ausathmung zuerst eine weitere Zunahme des Druckes und der Curvenhöhe, die im Verlaufe derselben wieder abnehmen. Die erste Herabsetzung des arteriellen Druckes bei Ausdehnung der Lunge rührt von der durch die rasch verstärkte Lungenspannung verursachten Herabsetzung des Druckes im Gefässsysteme her, wodurch in der Aorta thoracica und in den Lungen ein Theil des Blutes zurückgehalten wird, während zugleich von der anderen Seite den Lungen etwas mehr Blut als vorher aus dem Venensysteme zuströmt. De Jager nennt diese erste Senkung die Capacitätscurve, weil sie von der Zunahme der Lungencapacität bedingt wird. Gegen Ende der Einathmung schon tritt ein rascherer Zufluss von Blut durch die erweiterten Lungen nach dem linken Herzen ein und der arterielle Druck nimmt wieder etwas zu. Diese Steigung nennt de Jager die Stromgeschwindigkeitscurve (Pflüger's *Archiv*, XXVII, S. 183). Mit dem Beginne der Ausathmung wird die durch den atmosphaerischen

Ueberdruck zurückgehaltene Blutmenge bei der Zusammenziehung der Lungen wieder frei und erhöht den arteriellen Druck noch stärker — dies ist wieder die Capacitätscurve bei der Ausathmung. Noch im Verlaufe der Ausathmung beginnt aber der Blutdruck wieder abzunehmen in Folge der Abnahme in der Stromgeschwindigkeitscurve. Dieser Wechsel lässt sich auch an allen hier mitgetheilten Aufnahmen erkennen.

Kehren wir zu den unter dem Steigen und Fallen des Luftdruckes erhaltenen Pulscurven zurück, so könnte unter dem steigenden Luftdrucke nur derjenige Vorgang immer von Neuem zur Geltung kommen, welcher die Capacitätscurve bei der Einathmung bewirkt. Er müsste zugleich von einem allgemeinen Sinken des Blutdruckes begleitet sein und würde eine Verkleinerung der Pulscurven sowohl bei der Einathmung als bei der Ausathmung zur Folge haben.

Die Erweiterung der Lungenstellung, welche bei Panum's Versuchen 200 und 500 ccm betrug, schreitet während des zunehmenden Luftdruckes nur sehr allmählich vor und ist am Ende der Zunahme wahrscheinlich noch nicht vollständig ausgebildet. Wenn wir die Erscheinungen bei der Einathmung als maassgebend annehmen, so würde auf die Curven nur derjenige Theil der Erweiterung wirken, welcher sich während der Aufnahme der Curven in einigen Secunden ausbildet, und welcher in dieser Zeit ein sehr kleiner sein würde.

Die Erhöhung des Blutdruckes unter dem steigenden Luftdrucke beweist nun, dass unter dem zunehmenden Luftdrucke ein Einfluss der sich erweiternden Lungenstellung auf die Herabsetzung der Curvenhöhe, gegenüber der stärkeren Wirkung der Stauung in den Arterien durch Verengung des Abflussweges, nicht zum Ausdrucke kommt.

Dieselben Betrachtungen gelten in umgekehrter Richtung auch für die Veränderung bei sinkendem Luftdrucke, und es schliesst daher keinen Widerspruch ein, wenn unter dem steigenden und sinkenden Luftdrucke der Einfluss der Aenderung der Lungencapacität auf die Pulscurven nicht in derselben Weise bemerklich wird, wie bei den Stufen eines Athemzuges, indem diese durch die stärkere Aenderung nach der entgegengesetzten Seite verdeckt wird.

Studien über die Innervation der Athembewegungen.

Von

O. Langendorff.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg.)

Zehnte Mittheilung.

Das Athmungscentrum von Idothea entomon.

Im Sommer 1887 hatte ich Gelegenheit, eine Anzahl grosser lebender Exemplare der in der Ostsee vorkommenden Meerassel (Idothea entomon) zu untersuchen. Die Athmung dieser Thiere ist leicht zu beobachten und wäre, da auch ausserhalb des Wassers die Respirationsbewegungen lange fortdauern, unschwer auch graphisch darzustellen gewesen; leider fehlte es mir während meines Strandaufenthaltes an den nothwendigen Apparaten.

Die Crustaceengruppe der Isopoden, zu denen die Idothea gehört, ist Gegenstand eingehender zoologischer und anatomischer Untersuchungen gewesen; so hat sie eine specielle Bearbeitung erfahren durch Lereboullet,[1] in welcher freilich gerade die Meerasseln nicht berücksichtigt worden sind. Derselbe Autor citirt ein von ihm und Duvernoy verfasstes „Mémoire sur la respiration des crustacés isopodes“,[2] das mir aber leider nicht zugänglich gewesen ist.

Idothea entomon ist monographisch behandelt von Rathke[3] und von Kowalewski.[4] Hr. Dr. Wendt hat die Güte gehabt, mir den russischen

[1] *Mémoire sur les Crustacés de la famille des Clopotrides etc.* 1852.

[2] *Annales des Sciences naturelles.* 2e série. t. XV. p. 177.

[3] *Neueste Schriften der naturforschenden Gesellschaft in Danzig.* 1820 Bd. I. S. 109.

[4] *Anatomie der Idothea entomon.* (Russisch.)

Text der mich interessirenden Abschnitte des letztgenannten Autors zu verdeutschen.[1]

Rathke hat grösstentheils Spirituspraeparate des „Schachtwurmes“ untersucht; nur eines seiner Exemplare war lebend, wenn auch dem Tode nahe. Er beschreibt die Athembewegungen durchaus zutreffend. Das Thier athmete übrigens — was mir nicht ohne Interesse zu sein scheint — periodisch aussetzend; nachdem sechs oder mehr Respirationsbewegungen gemacht worden waren, setzten dieselben auf eine viertel oder halbe Minute aus. Rathke fügt indess hinzu: „Wie jedoch der Rhythmus in diesen Bewegungen bei einem ganz munteren Thiere sich zeigt, kann ich für jetzt nicht beurtheilen.“ Bei solchen findet sich in der That, wie ich gleich bemerken will, ein durchaus regelmässiger Rhythmus.

Aus eigenen und fremden Beobachtungen entnehme ich folgende Angaben über den Athmungsapparat und die Athembewegungen der Idothea.

Von den 13 Gliedern des Thieres ist das vorderste der Kopf; die sieben folgenden Thoraxringe tragen je ein Fusspaar; die fünf Abdominal- oder Schwanzglieder sind mit Ausnahme der letzten schmal und haben statt der Füsse blattartige Kiemen. Jeder Schwanzring trägt deren zwei Paare. Der fünfte Schwanzring ist erheblich verlängert (Kowalewski fand ihn bei 46 und 62 ^{mm} langen Thieren 18 bis 32 ^{mm} lang). An den Rändern der Dorsalplatte dieses Ringes sind zwei schalenartige Seitenplatten eingelenkt; indem sich diese wie zwei bewegliche Deckel über die Ventralfläche des Schwanztheiles schliessen, bedecken sie den ganzen Kiemenapparat. Sie öffnen und schliessen sich wie die beiden Flügel einer Schrankthür.

Bei der Athmung werden sowohl die Kiemendeckel wie die Kiemen selbst bewegt. Die letzteren machen frequente Schwingungen — nach Kowalewski 65 bis 75 bis 80 in der Minute. Ihre Bewegung geschieht durch starke Muskeln, die sich einerseits am zugehörenden Ringe, andererseits an der betreffenden Kiemenplatte dicht über deren Gelenkverbindung mit dem Ring ansetzen. Die Kiemendeckel sind bei gewöhnlicher Athmung halb geöffnet und an den Bewegungen nicht betheiligt. Bei dyspnoischer Athmung dagegen, wie sie eintritt, wenn man das Thier an die Luft bringt, schliessen und öffnen sich auch die Deckel in regelmässigem Rhythmus. Doch ist ihre Bewegungsfrequenz weit kleiner wie die der Kiemenplatten.

Da somit bei den Asseln abweichend von den meisten übrigen Crustaceen die Athmungsorgane im hintersten Theil des Körpers gelegen sind, hielt ich sie für besonders geeignet, an ihnen Erfahrungen über die Lage

[1] Ich verweise ferner auf die betreffenden Angaben von Milne Edwards *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée etc.* t. II. p. 122.

des Athemcentrums zu machen. An Süsswasserasseln hatte ich bereits früher Versuche angestellt; allein sie waren wegen der Kleinheit der Versuchsobjecte erfolglos geblieben. Um so unzweideutiger sind sie bei der grossen Idothea entomon geglückt.

Trug ich den Schwanztheil des Thieres ab, schnitt ich also zwischen dem siebenten Thoraxring und dem ersten Abdominalgliede durch, so blieb die Athmung vollständig fort, und kehrte auch nach Stunden nicht zurück.

Ganz anders aber war der Erfolg, wenn ich den Schnitt dicht über dem siebenten Ringe führte, so dass also das letzte der Füsse tragenden Glieder mit dem Schwanzabschnitt in Verbindung blieb. Nach einem bald nur sehr kurzen bald längeren Stillstand traten hier die Athembewegungen stets wieder ein. Sie waren langsamer wie normal, schienen mir aber kräftiger, indem besonders ausserhalb des Wassers die Kiemendeckel sich bei jeder Athembewegung weit aufsperrten. Der Rhythmus konnte ein völlig regelmässiger sein; einige Male wurde aber eine periodisch aussetzende Athmung des Stumpfes beobachtet, bei welcher neun bis zehn Athmungen erfolgten, nach ihnen eine mehrere Minuten lange Pause, dann wieder eine Gruppe u. s. f. Diese Form der Athmung konnte später in die reguläre übergehen.

Das automatische Athemcentrum der Idothea entomon liegt somit, wie mir aus diesen Beobachtungen mit grosser Wahrscheinlichkeit zu folgen scheint, im Schwanztheil des Thieres. Durch allzu nahe angelegte Schnitte wird es gelähmt.

Ich hatte diese Versuche angestellt, ohne Näheres über die Anordnung des Centralnervensystems der Asseln zu wissen. Es war mir nun sehr interessant, später die darüber vorliegenden Angaben kennen zu lernen. Leider hat Kowalewski in seiner Anatomie der Idothea das Nervensystem ganz mit Stillschweigen übergangen. In Fig. 1 bildet er allerdings einen Theil desselben ab; die Zeichnung endet aber dort, von wo sie gerade für mich wichtig gewesen wäre. Dagegen findet sich bei Rathke eine Beschreibung und Abbildung (letztere in Fig. 2, Taf. IV). Danach sind ausser dem Gehirn sieben grössere Ganglienknoten des Rumpfes vorhanden; ihnen schliessen sich vier kleinere des Athemleibes an. Von jedem der letzteren geht ein Nervenfaden zur Kieme und deren Musculatur.

Halte ich damit meine Beobachtungen zusammen, so scheint mir die Folgerung berechtigt, dass auch bei der Idothea die Ursprünge der Athemnerven, also die Schwanzganglien, das Athemcentrum darstellen.

Bei anderen Isopoden scheinen die Innervationsverhältnisse anders zu liegen. Lerebouillet giebt eine Schilderung und Abbildung[1] für Oniscus

[1] A. a. O. Taf. X, Fig. 174.

asellus L. Hier sind, wie fast bei allen anderen Asseln, gar keine Schwanzganglien vorhanden; das Bauchmark endet in der Gegend des siebenten Thoraxsegmentes und das ganze Abdomen wird von dem letzten Brustganglienpaare mit Nerven versorgt.

Zusätzliche Bemerkung.

In letzter Zeit habe ich mich auch bemüht, Näheres über die Athembewegungen und deren Innervation bei den Myriapoden zu erfahren. Indess habe ich bei keiner der mir zu Gebote stehenden einheimischen Arten (Lithobius forficatus, Julus terrestris u. a.) das Mindeste von Athembewegungen wahrnehmen können. Weder war bei den grösseren Exemplaren makroskopisch, noch bei den kleineren unter dem Mikroskop etwas davon zu erkennen.

Ich befinde mich mit diesem negativen Resultat in Uebereinstimmung mit Chalande[1] und mit Felix Plateau.[2] Letzterer hat sogar an einer riesigen (14 ^{cm} messenden) tropischen Art (Scolopendra subspinipes Kohlrausch) nicht mehr Glück gehabt.

Es ist dies um so bedauerlicher, als gerade die Myriapoden, bei denen der metamere Bau sich auch im Nervensystem in ganz unverwischter Weise erhalten hat, für die Untersuchung der segmentalen Athmungscentren besonders geeignet erscheinen müssten, geeigneter noch, wie gewisse Insecten, für welche die entsprechenden Verhältnisse zuletzt von Plateau in dessen ausgezeichneten *Recherches expérimentales sur les mouvements respiratoires des insectes*[3] sowie von mir selbst[4] studirt worden sind.

Elfte Mittheilung.

Ueber die automatische Thätigkeit des Athmungscentrums bei Säugethieren.

Von

C. Franck und O. Langendorff.

Für die Beantwortung der Frage, an welchem Punkte des Centralorgans die Reize angreifen, welche die Athemcentren erregen, ist von grösster

---

[1] *Comptes rendus etc.* Janvier 1887.

[2] *Extrait des Comptes rendus de la Société entomologique de Belgique.* 6 août. 1887.

[3] Bruxelles 1884.

[4] VI. Mittheilung. *Dies Archiv.* 1883.

Bedeutung die Entscheidung darüber, ob die Athmung ein automatischer oder ein reflectorischer Act ist. Wäre das letztere bewiesen und wäre bewiesen, dass den Nn. vagi ein wesentlicher Antheil an der Auslösung der Athembewegungen zukommt, so wäre fürderhin jeder Widerspruch gegen die hervorragende Bedeutung des Kopfmarkes als nutzlos aufzugeben, wenngleich das alsdann dort residirende Athemcentrum doch vielleicht ein ganz anderes Aussehen haben würde, wie das nach den Vorstellungen von Flourens und seinen Anhängern gedachte.

Dem N. vagus eine bedeutsame Rolle bei der Anregung der Athembewegungen zuzuschreiben, ist das sehr natürliche Bestreben vieler Physiologen gewesen. Ich erinnere nur an Brachet, welcher meinte, dass das Gefühl des Athembedürfnisses uns zur Athmung antreibt; dieses Bedürfniss werde durch Vermittelung des Vagus empfunden. Nach seiner Durchschneidung aber athme man aus Gewohnheit fort. Männer wie Arnold und Romberg haben ihre Zustimmung zu dieser Anschauung ausgesprochen.

Marshall Hall[1] dagegen meint, dass aus den vorliegenden Experimenten eigentlich geschlossen werden müsse, dass weder das Gehirn noch die Vagi für den Inspirationsact nothwendig seien, da die Athmung nach Entfernung beider fortdauere. „Allein die Wahrheit ist,“ fährt er fort, „dass wenn auch der Inspirationsact ohne eines von beiden (nämlich entweder ohne das Gehirn oder ohne die pneumogastrischen Nerven) andauert, er doch nicht nach Entfernung beider zugleich andauern wird.“ Nach Entfernung des Gehirns sei die Athmung ein reiner durch die Vagi vermittelter Reflexact; bei Integrität des Gehirns werde derselbe durch den Willen geregelt und controlirt. Aber der Vagus ist nicht der einzige centripetale Erreger der Inspiration; in ähnlichem Sinne wirken der N. trigeminus und die Spinalnerven; letztere bedürfen indess äusserer Reize, während die Vagusenden in den Lungen durch die Kohlensäure der Lungenluft erregt werden. Entfernt man Gross- und Kleinhirn bei einem Thiere, so dauert die Respiration durch die Wirksamkeit der Vagi fort; werden auch sie durchtrennt, so hört sie sogleich auf.

Legallois, Bell, Flourens haben dagegen die Medulla oblongata für das primum mobile der Athmung gehalten;[2] Joh. Müller hat die respiratorische Thätigkeit des Kopfmarkes für eine automatische erklärt, und den Begriff der Automatie entwickelt.

---

[1] *Ueber die Krankheiten und Störungen des Nervensystems* u. s. w. Deutsch von Behrend. Leipzig 1842. S. 68 u. ff.

[2] Flourens hat besonders erklärt, dass die Med. oblongata nicht etwa deshalb das Athemcentrum enthalte, weil sie dem Vagus zum Ursprung diene, da ja Vernichtung beider Vagi die Athmung nicht aufhebe. (*Recherches expérimentales sur les propriétés et les fonctions du système nerveux.* II. éd, 1842. p. 181.)

An die späteren Beobachtungen und Schlussfolgerungen von Volkmann, Vierordt, v. Wittich und Rach, Schiff, durch welche die rein reflectorische Natur der Athmung zu erweisen gesucht wurde, sowie an die entgegengesetzten Folgerungen von Rosenthal sei hier nur erinnert.

In neuester Zeit ist die Automatie wenigstens für das Athmungscentrum des Frosches durch drei schnell aufeinandergefolgte Publicationen übereinstimmend festgestellt worden. Ich verweise auf meine VIII. Mittheilung,[1] auf Schrader[2] und auf Knoll's Mittheilung VIII der „Beiträge zur Lehre von der Athmungsinnervation.[3] Es war dadurch sehr wahrscheinlich gemacht, dass auch dem Athemcentrum der Säugethiere eine automatische Thätigkeit zukommt und zwar eine Automatie der Art, dass sie die Athemmuskeln nicht nur in Thätigkeit, sondern auch in rhythmischer Thätigkeit erhält.

Zu anderen Schlussfolgerungen ist Marckwald[4] in seiner mehrfach citirten Untersuchung über die Athmungsinnervation des Kaninchens gelangt. Seine Auffassung culminirt in folgenden Sätzen:

„Das automatisch thätige Centrum kann nur Athemkrämpfe auslösen, keine regelmässigen rhythmischen Athembewegungen."

„Die normale rhythmische Athmung ist ein reflectorischer Act, vornehmlich ausgelöst durch die Nn. vagi, welche verhindern, dass die im Centrum sich anhäufenden Spannungen unnatürlich wachsen, vielmehr die inhaerenten Erregungen des Athemcentrums in regelmässige Athembewegungen umsetzen (Entlader)."

„Nächst den Vagi sind die oberen Hirnbahnen für die Auslösung regelmässiger rhythmischer Athmung von grosser Bedeutung. Sie sind im Stande, den Ausfall der Nn. vagi zu decken, wie die Nn. vagi den Ausfall der oberen Bahnen compensiren."

„Die sensiblen Hautnerven vermögen nicht für die Hirnbahnen oder für die Vagi vicariirend einzutreten."

„Die Vagi sind in constanter Erregung, besitzen einen Tonus."

„Den Hautnerven, sowie den Trigemini, Laryngei sup. und Glossopharyngei kommt ein Tonus nicht zu."

Zu diesen Schlüssen gelangt Marckwald durch folgende Versuche:

Trennt er bei einem Kaninchen die „oberen Hirnbahnen" dadurch ab, dass er das Kopfmark in der Höhe der Tubercula acustica quer durchschneidet, so athmet das Thier in regelrechtem Rhythmus weiter. Nur

---

[1] *Dies Archiv.* 1887. S. 285.

[2] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XLI. S. 75.

[3] *Wiener akademische Sitzungsberichte.* Juli-Heft 1887. Bd. XCV. III. Abth.

[4] *Zeitschrift für Biologie.* 1887. Bd. XXIII.

wenn er dem Vagusursprung zu nahe kommt, wird die Athmung periodisch aussetzend oder intermittirend.

Andererseits athmet das Thier bekanntlich auch in regelrechtem Rhythmus, wenn man die Vagi durchschneidet.

Verbindet man aber beide Operationen mit einander, so ändert sich der Athmungsmodus sogleich in sehr auffallender Weise. Es treten Inspirationskrämpfe auf, von kürzerer oder längerer Dauer (sehr häufig bis zu $1^3/_4$ Minute und darüber!), die mit activen oder passiven Exspirationen abwechseln.

Hinzugefügte Ausschaltung der „unteren Bahnen" (Durchschneidung des Rückenmarkes in der Höhe des letzten Halswirbels, Durchtrennung der Plexus brachiales et cervicales), sowie der Nn. glossopharyngei ist ohne Einfluss auf das Bild, das die so veränderte Athmung darbietet.

In Kurzem wäre die Schlussfolgerung Marckwald's folgende: Das von zuströmenden centripetalen Erregungen losgelöste Athemcentrum besitzt einen geringen Grad von Automatie, der sich aber nur in unregelmässigen Athemkrämpfen zu äussern vermag. Nur durch Vermittelung der Vagi können diese in regelmässige rhythmische Athembewegungen umgesetzt werden. Nach Durchschneidung der Vagi vermögen die oberen Hirnbahnen sie zu ersetzen.

Es mag bemerkt sein, dass unter „oberen Hirnbahnen" verstanden werden „die höheren Sinnesnerven, der Trigeminus und diejenigen sensiblen Nerven, welche von oben, vom Gehirn her, mit dem Athemcentrum in Verbindung treten." (A. a. O. S. 70.)

Den Nn. vagi die Rolle zuzuschreiben, Athemkrämpfe in regelmässige Athembewegungen umzusetzen, daran wird Keiner Anstoss nehmen. Würde sich doch an der Hand der bekannten Hering-Breuer'schen Versuche eine Erklärung dafür ohne Weiteres geben lassen. So ist indessen die Marckwald'sche These nicht gemeint. Vielmehr lehnt er, wie aus seinen und auch aus Kronecker's commentirenden Erörterungen hervorgeht, die Wirksamkeit rhythmischer Vaguserregungen, somit den Einfluss der Volumschwankungen der Lunge entschieden ab. Der Vagus ist nach ihm ein Entlader; seine Wirkung vergleichbar derjenigen einer Lane'schen Maassflasche, welche die ihr beständig zugeführte Elektricität rhythmisch entladet, sobald ein bestimmter Spannungswerth erreicht ist.[1] Was noch auffälliger

[1] Mir ist bei diesem Bilde nicht ganz klar geworden, ob die Spannung in den Vagi oder im Athemcentrum sich ausbilden soll. Sollen die Vagi gemeint sein, so ist, um deren Wirksamkeit zu erklären, die rhythmische Ausladung ihrer Spannung entbehrlich, da ja Marckwald selbst gezeigt hat, dass auch continuirliche Vagusreizung die Athemkrämpfe in rhythmische Athembewgungen verwandelt. Hat Marckwald das Athemcentrum im Sinne, so wird sich dasselbe auch ohne die Vagi rhyth-

erscheint und dem Verständniss ausserordentliche Schwierigkeiten bereiten muss, das ist die Angabe, dass die Vagi durch die oberen Hirnbahnen in diesem Geschäft sollen vertreten werden können. Vermuthlich ist die Voraussetzung, dass die Hirnbahnen Aehnliches wie die Vagi leisten, nicht ohne Einfluss auf die eben besprochene Auffassung der Vagusfunction gewesen.

An sich erscheint eine Automatie, die sich nur in seltenen Athemkrämpfen äussert, nicht wahrscheinlich. Es war die Frage aufzuwerfen, ob bei der Erzeugung dieses Athmungsmodus nicht auch andere wie blosse Ausfallserscheinungen betheiligt sind. Diesem Zweifel habe ich schon bei früherer Gelegenheit Ausdruck gegeben. Inzwischen hat Loewy unter der Leitung von Zuntz gefunden, dass nach der von Marckwald angegebenen Operation nicht „arhythmische Athemkrämpfe" auftreten, sondern nur eine rhythmisch ungewöhnlich verlangsamte und vertiefte Athmung (2 bis 4 pro Minute) mit erheblich verlängerter Inspirationsdauer entsteht.[1] Ich selbst dagegen hatte schon vor mehreren Jahren öfters Gelegenheit gehabt, die schon im Jahre 1879 vorläufig publicirte Beobachtung Marckwald's zu bestätigen.

Somit schienen neue Untersuchungen über die Thatsache selbst und ihre Deutung angezeigt. Ich habe dieselben in Gemeinschaft mit Hrn. stud. med. Franck unternommen.

Versuchsmethode.

Zu allen Versuchen wurden Kaninchen benutzt.[2] Da es sehr bedenklich ist, Fragen von so weitgehender Bedeutung, wie die von Marckwald aufgeworfenen, durch Versuche an einer einzigen Thierart zu beantworten, wären solche an Hunden und Katzen sehr erwünscht gewesen. Leider waren wir bisher ausser Stande, diese Forderung zu erfüllen. Wir behalten uns aber vor, später unsere Beobachtungen in dieser Richtung zu ergänzen. Die Thiere wurden mit Chloralhydrat narkotisirt, dann tracheotomirt, die Carotiden zur Vermeidung von grösseren Gehirnblutungen unterbunden.

---

misch entladen, gerade so wie die Maassflasche, die ja bekanntlich besonderer Entlader nicht bedarf.

[1] Nachdem der Druck der vorliegenden Abhandlung bereits begonnen war, erschien in Pflüger's *Archiv* u. s. w., Bd. XLII, die ausführliche Arbeit von Loewy. In einzelnen Punkten ist unsere Uebereinstimmung eine sehr grosse; doch scheint uns die Veröffentlichung unserer Untersuchung nicht überflüssig geworden zu sein, zumal da wir einen, wie wir glauben, nicht erfolglosen Schritt zur Erklärung der behandelten Erscheinungen gethan haben.

[2] In einem Falle ein Meerschweinchen.

Die Abtrennung der oberen Hirnbahnen nimmt Marckwald bekanntlich so vor, dass er das Kopfmark in der Höhe der Tubercula acustica durchschneidet. Da wir nach dieser Operation viele Thiere an dauerndem Athmungsstillstand verloren, haben wir in den weiteren Fällen ein anderes Verfahren angewendet, das ebenso zum Ziele führen musste. Wir entfernten die Grosshirnlappen, die Sehhügel und die Vierhügel vollständig. Diese Operation gelingt oftmals ohne irgend erheblichen Blutverlust, wenn man dafür gesorgt hat, dass die Versuchsthiere mehrere Tage lang zuvor nur mit Hafer gefüttert wurden und keine Getränke erhielten. Vorhandene Blutungen sind meistens leicht zu stillen. Das Kronecker-Marckwald'sche Verfahren unterscheidet sich bezüglich der ausfallenden Bahnen insofern von dem unserigen, als bei jenem auch Kleinhirn, Nn. trigemini, Nn. acustici fortfallen. Wir haben deshalb mehrmals auch das Kleinhirn entfernt und meistens die Trigemini durchschnitten (dicht hinter dem Ganglion Gasseri in der mitteren Schädelgrube), ohne dass dadurch das sich uns darbietende Bild irgendwie sich änderte. Auf die Beseitigung der Hörnerven mussten wir verzichten; doch glaubten wir dies ruhig thun zu dürfen, da selbst heftige Schalleindrücke die Athmung des enthirnten narkotisirten Thieres nicht im geringsten zu verändern pflegten. Die Vagi wurden entweder vor oder nach der Enthirnung durchtrennt. Das Rückenmark blieb, da Marckwald's Versuche keinen wesentlichen Einfluss seiner Durchschneidung festgestellt hatten, unversehrt.

Die Athembewegungen wurden in allen Fällen auf den rotirenden Cylinder aufgezeichnet. Um eine deutliche Anschauung von der gesammten Athmungsthätigkeit zu erhalten, ist es durchaus nothwendig, die Luftröhre des Thieres mit einem Registrirapparat zu verbinden. Zur Erreichung minderer Genauigkeit genügt das Verfahren von Hering und P. Bert (Luftvorlage, Marey'sche Zeichentrommel); für genauere Versuche wäre eine aëroplethysmographische Vorrichtung (Gad) erforderlich. Da uns eine solche nicht zur Verfügung stand, haben wir uns mit der ersterwähnten Anordnung begnügt.

Da in den mitzutheilenden Versuchen sehr oft die Registrirung der natürlichen Athembewegungen des Thieres mit zeitweilig aufgenommenen künstlichen Respirationen zu wechseln hatte, kam uns eine Wechselcanüle sehr zu nutze, welche die Trachea bald mit dem durch einen Wassermotor bewegten Blasebalg, bald mit der Athmungsflasche schnell in Verbindung zu setzen erlaubte. Ich werde dieselbe bei späterer Gelegenheit beschreiben.

Nur in einigen Fällen haben wir allein die Zusammenziehungen des Zwerchfells aufgezeichnet. Der hierzu verwendete Transmissionsphrenograph, eine Abänderung der ähnlichen Rosenthal'schen Vorrichtung, wird ebenfalls später geschildert werden.

Ergebnisse.

1. Nach Fortnahme des Gross- und Mittelhirns (mit oder ohne gleichzeitige Abtragung des Kleinhirns und Durchschneidung der Trigemini) bei doppelseitig vagotomirten Thieren, oder nach doppelseitiger Vagusdurchschneidung bei Thieren, die bis auf die Medulla oblongata (und Pons) enthirnt sind — treten meistens Krampfathmungen auf.

2. Dieselben sind fast immer regelmässig rhythmisch; nur Anfangs ist das nicht immer der Fall. Ihre wesentlich durch die Dauer der exspiratorischen Pausen bestimmte Frequenz ist sehr wechselnd, anfänglich oft geringer wie später. Sie wächst in späteren Zeiten nach der Operation besonders dann, wenn ab und zu durch künstliche Athmung für ausreichende Ventilation des Thieres gesorgt wird.

Die nebenstehende Tabelle giebt im zweiten Stabe einige ausgezählte Athemfrequenzen an. Die zweiten, dritten u. s. w. Ziffern sind stets in späteren Versuchsstadien gewonnen. Der dritte Stab enthält die „Minutenfrequenzen“, d. h. die Anzahl der Athmungen, die bei der an den drei ausgerechneten Athmungen beobachteten Frequenz in 60 Secunden ausgeführt worden wären.

3. Die Athmungen sind krampfhaft meistens in Bezug auf die Inspiration; doch kommen auch exspiratorische Krämpfe zur Beobachtung.

Die Inspirationstetani sind von sehr wechselnder Dauer. Innerhalb eines und desselben Versuches sind sie Anfangs oft lang, später werden sie meist kürzer; ja sie schwinden dann zuweilen gänzlich, so dass das Thier zwar langsam, aber in ganz regelrechter Weise athmet. In einzelnen Fällen fehlen die inspiratorischen Krämpfe von vornherein ganz und gar.

Die längste Krampfdauer, die zur Beobachtung kam, betrug 55 Secunden, die kürzeste 2—3 Secunden. Die spätere Abnahme der Krampfdauer zeigt besonders ein Versuch (V); während hier Anfangs Tetani von 37 Secunden Dauer beobachtet wurden, betrug deren Dauer später nur 10—15 Secunden, noch später sank dieselbe auf 5 Secunden. So war es auch in anderen Fällen.

Ein Alterniren von langen und kurzen Krämpfen sahen wir selten, das eine Mal beim Meerschweinchen. Hier kam nach längerer Athempause eine kurze, übrigens kaum als krampfhaft zu bezeichnende Athmung, kurz darauf ein langdauernder Inspirationskrampf; darauf eine grosse Athempause, kurze Athmung u. s. f. Die Abwechselung war so regelmässig, dass die Athmung ganz den Eindruck einer periodisch-aussetzenden machte, deren Gruppen aus je zwei Athmungen sich zusammensetzten.

Tabelle.

Versuch.	3 Athmungen in Sec.	Minutenfrequenz.	Bemerkungen.[1]
I.	128	1·4	
	30	6	
	47 71 74	3·8 2·5 2·4	
III.	2·5	72	Keine Athemkrämpfe.
	3	60	
	4	45	
	6	30	Kurz nach Fortnahme des Kleinhirns.
	4	45	1/4 Stunde später.
V.	176	1·02	
	135	1·3	
	72	2·5	
VI.	20	9	Vor der Vagusdurchschneidung.
	195	0·92	Nach Durchschneidung des rechten Vagus. (Krämpfe!)
	140	1·28	Nach Durchschneidung des l. Vagus.
VII.	43	4·2	Nach einseitiger Vagotomie.
	135	1·4	Nach doppelseitiger Vagotomie.
	82	2·2	
VIII.	206	0·87	
	147	1·2	
IX.	146	1·2	
	105	1·7	
X.	39	4·6	
	45	4	
XI.	167	1·8	
XIII.	45	4	
XIV.	60	3	
XV.	60	3	Athemkrämpfe nach Durchschneidung eines Vagus.

Wir fügen hier die graphische Darstellung eines Falles bei, in welchem gleich in den ersten Stadien nach den angeführten Operationen (von deren Gelingen, wie immer, die Section den Beweis lieferte) die Athmung einen krampflosen Charakter darbot. Nur Anfangs stellten sich ab und zu leichte Körperkrämpfe ein, die von kurzen activen exspiratorischen Stillständen begleitet waren (Fig. 1 *a*); später wurde die Athmung ganz und

[1] Wo nichts besonderes bemerkt ist, sind beide Vagi durchschnitten, und das grosse Gehirn mit dem Mittelhirn entfernt. In vielen Versuchen sind auch die Trigemini durchschnitten, in einigen das Cerebellum fortgenommen.

gar regelmässig und unterschied sich in Nichts von den Athmungen eines narkotisirten Thieres, dem man beide Nn. vagi durchnitten hat (Fig. 1 *b*).

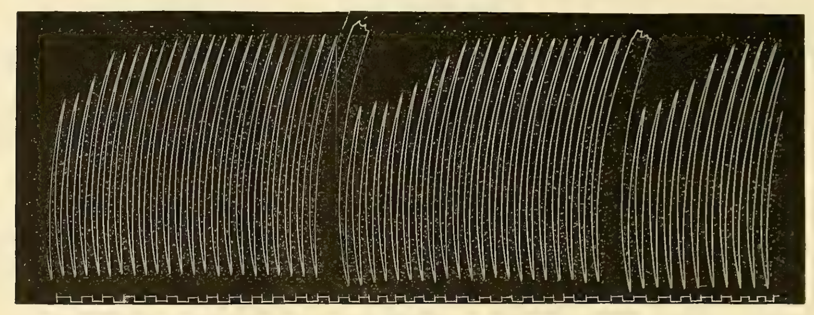


Fig. 1 *a*.

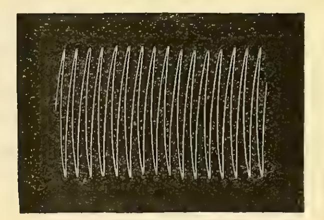


Fig. 1 *b*.
Bei *b* ist der Zeichenhebel weniger empfindlich.
Zeitmarken = 2 Secunden.

4. Zuweilen treten die typischen Athemkrämpfe beim enthirnten Thiere schon nach e i n s e i t i g e r V a g u s d u r c h s c h n e i d u n g auf (Fig. 2). Fügt man dann noch die Durchschneidung des anderen Vagus hinzu, so können die Tetani länger werden. Dass das aber nicht immer der Fall ist, lehrt Fig. 2.[1] (Die Curven sind sämmtlich von links nach rechts zu lesen.)

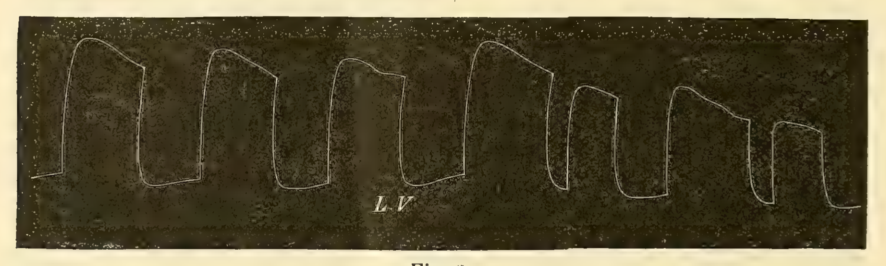


Fig. 2.
Der rechte Vagus ist durchschnitten. Bei *L. V.* wird der linke Vagus durchschnitten.
1 ^{cm} Papierlänge = 40 Secunden.

---

[1] Wir bemerken hierzu, dass der zweite Vagus vor seiner Durchschneidung in keiner Weise laedirt worden war.

5. In anderen Fällen stellt sich nach einseitiger Vagussection periodisch-aussetzendes Athmen von grosser Regelmässigkeit ein (Fig. 3 *a*). Wird dann der zweite Vagus durchschnitten, so treten die Krämpfe auf (Fig. 3 *b*). Dass sie auch hier später sich völlig verlieren können, wie oben angegeben, lehrt Fig. 3 *c*, die demselben Versuch angehört.

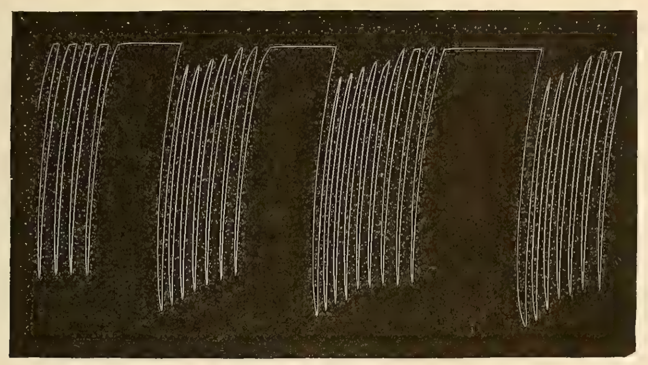


Fig. 3 *a*.

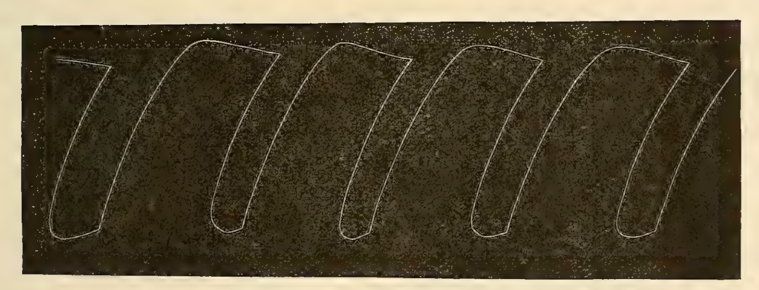


Fig. 3 *b*.



Fig. 3 *c*.

a. Periodisch aussetzende Athmung nach einseitiger Vagusdurchschneidung.
b. Athemkrämpfe nach Durchtrennung des zweiten Vagus.
c. An Stelle der Inspirationskrämpfe sind später normale Athembewegungen getreten.
a Originalgrösse, *b* und *c* auf $^1/_2$ reducirt.
1 ^{cm} Papierlänge = 25 Secunden in *b* und *c*; = 12·5 Secunden in *a*.

6. Bei allen Thieren, welche die angegebenen Operationen überstanden haben, ist es möglich, durch kurzdauernde aber lebhafte künstliche Ventilation absolute Apnoe zu erzielen. Dieselbe kann von beträchtlicher Dauer sein.

Es wurden apnoische Pausen von folgender Dauer beobachtet:

Versuch V. 40 Secunden und 70 Secunden.
Versuch VII. 70 Secunden.
Versuch VIII. 54 Secunden.
Versuch X. 125 Secunden.
Versuch XIII. 120 Secunden.

Wir bemerken hierzu, dass auf die Dauer der künstlichen Lüftung in diesen Versuchen nicht genauer geachtet wurde. Die apnoischen Pausen kamen hier mehr gelegentlich zur Beobachtung, wenn nämlich die ab und zu für einige Minuten aufgenommene künstliche Athmung mit der natürlichen vertauscht werden sollte. Die „Wechselcanüle" (s. o.) leistete für die prompte Aufzeichnung gute Dienste.

7. Erstickung (durch Verbluten) wirkt auf das isolirte Athemcentrum ganz ebenso ein, wie auf das nicht isolirte. Es entwickelt sich Dyspnoe (Zunahme der Athemfrequenz), an sie sich anschliessend eine lange Athempause, dann die „Terminalathmungen".

Discussion und weitere Versuche.

Werden durch die angeführten Resultate die Beobachtungen von Kronecker und Marckwald auch im Allgemeinen bestätigt, so ist es doch im Einzelnen nicht der Fall. Die von uns gemachten Beobachtungen führen uns demgemäss auch zu einer wesentlich anderen Auffassung der in Frage stehenden Erscheinungen.[1]

Abweichend und auffallend sind in unseren Versuchen zunächst folgende Beobachtungen:

1. Die Athemkrämpfe können gänzlich fehlen, von vornherein können normale rhythmische Athmungen vorhanden sein.

2. Entstandene rhythmische Athemkrämpfe könnnen später schwinden und normalen Athembewegungen Platz machen.

[1] Die Verschiedenheit der Ergebnisse ist nicht durch die Verschiedenheit der Operationsweise zu erklären. Im Versuch I, in welchem vollständig nach dem Verfahren von Marckwald operirt worden war, dauerten die Inspirationskrämpfe anfangs 10 Secunden, später nur 2 bis 4; zeitweilig war der Athmungsmodus überhaupt nicht als krampfhaft zu bezeichnen.

3. Die Dauer der Athemkrämpfe ist in den einzelnen Versuchen eine sehr verschiedene; sie variirt von 2 bis 3 Secunden bis zu $^1/_2$ bis 1 Minute.

4. Die Athemkrämpfe zeigen fast durchweg einen regelmässigen Rhythmus.

Nach diesen Erfahrungen wird es unmöglich, mit Marckwald anzunehmen, dass das isolirte Athemcentrum nur arhythmische Athemkrämpfe auszulösen im Stande sei, dass es zur Hervorbringung normaler rhythmischer Athembewegungen der Anregung durch die Vagi oder durch die oberen Hirnbahnen oder durch künstliche Reize bedürfe. Nach dem für Versuche am Centralnervensystem giltigen Princip, dass Functionen fortgefallener Theile nur nach dem Maximum des vom Normalen übrig Gebliebenen beurtheilt werden dürfen, müssen wir schliessen, dass das isolirte Athemcentrum nicht nur automatisch thätig ist, sondern dass es auch eine normale, von der gewöhnlichen nicht wesentlich abweichende Athemrhythmik zu unterhalten im Stande ist.

Die Krampfathmungen können nicht in die Classe der Ausfallserscheinungen gerechnet werden, sondern sind als Nebenwirkungen aufzufassen, die naturgemäss je nach äusseren Zufälligkeiten in ihrer Intensität und in ihrer Dauer variiren.

Es wird Aufgabe der weiteren Untersuchung sein, festzustellen, welche Beziehungen zwischen den ausgefallenen Theilen und diesen Störungen der normalen Athemrhythmik bestehen. Welchen Antheil hat der Fortfall des Gross- und Mittelhirns, welchen der Ausfall der Nn. vagi?

Da die Krampfathmungen einzutreten pflegen sowohl bei enthirnten Thieren, denen man die Vagi durchschneidet, als bei vagotomirten, denen man Gross- und Mittelhirn entfernt, da ferner jede von diesen Operationen allein für sich wirkungslos ist — sieht es auf den ersten Blick in der That so aus, als hätten Vagi und obere Hirnbahnen eine für das Athemcentrum analoge Bedeutung, derzufolge die einen durch die anderen Vertretung finden können. Beim näheren Zusehen machen sich indess gegen diese Auffassung schwere Bedenken geltend, insbesondere wenn man sich vorstellt, wie winzig die Einflüsse der Sinnesorgane auf die normalen Athembewegungen zu sein pflegen, im Verhältniss zu den mächtigen Einwirkungen der erregten Lungennerven.

Wir haben zunächst zu entscheiden versucht, welche Hirnbahnen es sind, deren Fortnahme beim vagotomirten Thiere zur Entstehung der Athemkrämpfe Anlass giebt. Zu diesem Behuf wurden bei einem Thiere nach vorausgeschickter doppelseitiger Vagusdurchschneidung die einzelnen Hirntheile successive entfernt.

Versuch.

Einem mittelgrossen, in tiefste Chloralnarkose versetzten Kaninchen wird nach Ausführung der Tracheotomie, Durchschneidung der Vagi und und Unterbindung der Carotiden (Aufzeichnung der Athmungen Fig. 4 *a*)

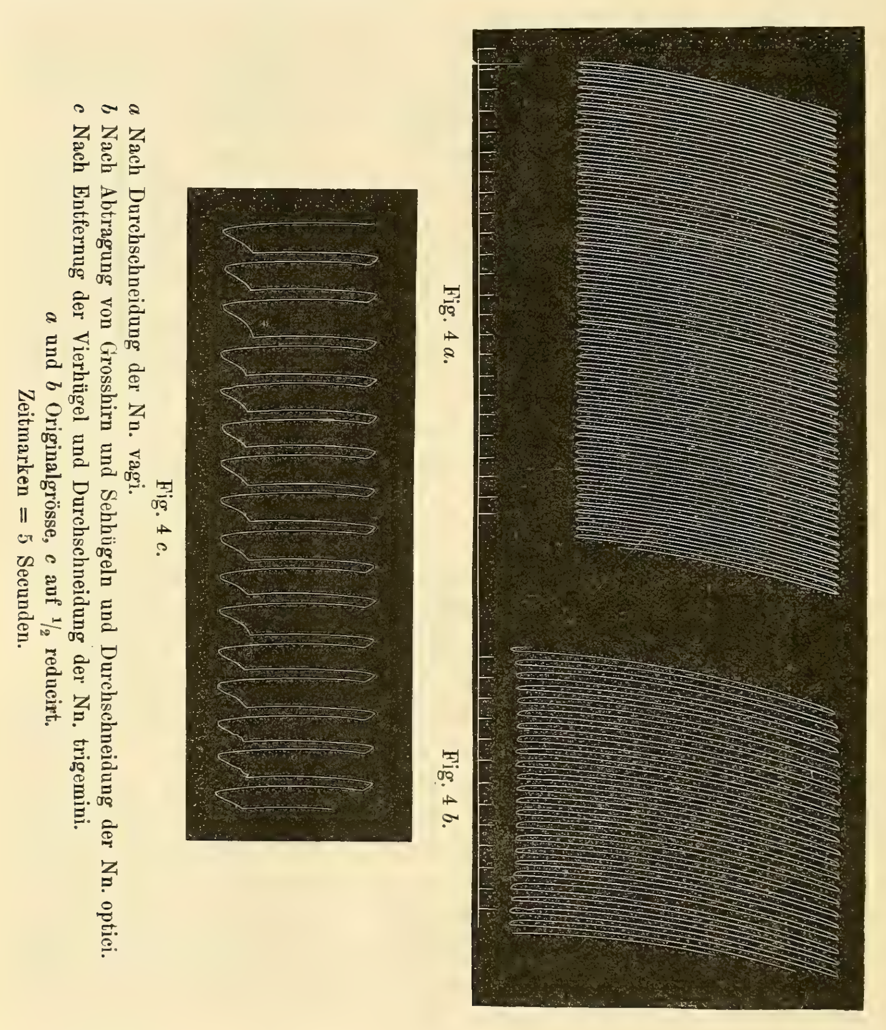


Fig. 4 *a*. Fig. 4 *b*. Fig. 4 *c*.

a Nach Durchschneidung der Nn. vagi.
b Nach Abtragung von Grosshirn und Sehhügeln und Durchschneidung der Nn. optici.
c Nach Entfernung der Vierhügel und Durchschneidung der Nn. trigemini.
a und *b* Originalgrösse, *c* auf $^1/_2$ reducirt.
Zeitmarken = 5 Secunden.

die Schädeldecke abgetragen und zunächst das Grosshirn exstirpirt. Die Athmung wird langsamer, bleibt aber sonst ganz normal. Darauf werden die Nn. optici im Chiasma durchschnitten; die Athmung ändert sich nicht. Eine wesentliche Aenderung tritt auch nicht ein, als jetzt die Thalami optici entfernt werden (S. Fig. 4 *b*.) Alsdann werden die Vier-

hügel fortgenommen. Sofort entstehen Athemkrämpfe. Nach hinzugefügter doppelseitiger Durchschneidung der Nn. trigemini zeigen dieselben keine Veränderung. Sie werden aufgezeichnet (Fig. 4 *c*) und erweisen sich als regelmässig rhythmisch. Heftige akustische Reize sind gänzlich wirkungslos.

Aus diesem Versuche folgt, dass beim vagotomirten Thiere die Entfernung des Grosshirns, der Nn. optici und der Sehhügel die Athmung nicht krampfhaft macht, dass dagegen sofort Inspirationstetani auftreten, wenn die Corpora quadrigemina exstirpirt werden. Folgte man Marckwald, so müsste man schliessen, dass die Impulse, die das Athemcentrum von den sogar von den Nn. optici getrennten, Vierhügeln erhält, im Stande sind, die von den Nn. vagi ausgehenden Anregungen zu ersetzen — eine Schlussfolgerung, deren Absonderlichkeit auf der Hand liegt, und die wir auch keineswegs zu der unserigen machen wollen. Eine grosse Wahrscheinlichkeit erhält dagegen durch diese Erfahrung die Annahme, dass die Athemkrämpfe nicht durch den Fortfall der Hirnbahnen, sondern durch die mit ihrer Fortnahme einhergehenden Verletzungen bedingt seien.

Bei Operationen am Centralnervensystem gehen Hemmungs- und Erregungserscheinungen nebeneinander her. Die Lehren Brown-Séquard's von der „inhibition" und „dynamogénie", die wiederholten Mahnungen von Goltz, zwischen den Ausfallserscheinungen und den Reizungs- (bez. Hemmungs-) Erscheinungen zu unterscheiden, haben noch lange nicht diejenige Anerkennung gefunden, die ihnen gebührt.

Wir möchten zudem daran erinnern, dass von Martin und Booker,[1] später von Christiani[2] nachgewiesen worden ist, dass durch Reizung der an der Grenze von vorderen und hinteren Vierhügeln oder der unter den letzteren gelegenen Theile kräftige inspiratorische Wirkungen (Athmungsstillstand im Zustande der Inspiration oder Beschleunigung der Athembewegungen) erzielt werden können. Vielleicht kommen bei unseren Versuchen mechanische Reizungen zu diesen Apparaten in Beziehung stehender Bahnen in Betracht.

Vielleicht vermischen sich diese Reizungen mit echten Hemmungswirkungen. Wer möchte sagen, zu welchen vielgestaltigen Erscheinungen die hier denkbaren Combinationen zu führen vermögen!

---

[1] H. Newell Martin and W. D. Booker. *Journal of Physiology*. 1878/79. Vol. I. S. 370.

[2] Christiani, *Monatsberichte der kgl. Akademie der Wissenschaften in Berlin*, Februar 1881.

Mit den früher berichteten Erfahrungen über Auftreten und Nichtauftreten der Athemkrämpfe, über Persistiren und Verschwinden, über kurze und lange Krampfdauer steht diese Auffassung im vollsten Einklang; die Verletzung als solche wird Reizungserscheinungen von sehr verschiedener Stärke erzeugen können, die bald kurz währen, bald lange andauern, gelegentlich auch ganz fehlen können. In Uebereinstimmung steht damit auch ein von uns angestelltes Experiment, bei welchem wir nach Durchschneidung der Vagi das Mittelhirn nur halbseitig von der Med. oblongata abtrennten. Die Folge dieser Operation waren typische Athemkrämpfe, die sich in keiner Weise änderten, als Gross- und Mittelhirn völlig herausgenommen wurden. Wären die Krämpfe eine Folge des Fortfalls erregender Bahnen, so hätten sie nach nur theilweiser Ausschaltung derselben nicht eintreten oder schwach sein, nach totaler Ausschaltung sich aber sicherlich verstärken müssen.

Die hier vertretene Auffassung der Athemkrämpfe, derzufolge sie nicht ein Ausdruck der dem automatischen Athemcentrum inhaerenten Form der Thätigkeit, sondern nebensächliche Verletzungserscheinungen sind, begegnet anscheinend einer Schwierigkeit.

Warum fehlen die Athemkrämpfe, wenn man einem sonst intacten Thiere Grosshirn und Mittelhirn nimmt, und warum treten sie sofort auf, wenn man dazu noch die Vagi durchschneidet?

Wir glauben dass die Antwort auf diese Frage nicht schwer ist. Die Lösung liegt in der Hering-Breuer'schen Lehre von der Selbststeuerung der Athembewegungen durch die Nn. vagi. Wir glauben, dass die in Rede stehenden Versuche eine praegnante Illustration zu dieser Theorie darstellen.

Da dieser Lehre zufolge die inspiratorische Aufblähung der Lunge die Ursache zur Beseitigung dieser Aufblähung wird, die Einathmung also durch Reizung der hemmenden Vagusfasern sich selber ein Ende bereitet, werden tiefe inspiratorische Krämpfe nur dann eintreten können, wenn diese regulatorischen Vorrichtungen fehlen. Das in Folge irgend einer Ursache, z. B. einer Gehirnverletzung, einen tiefen Einathmungskrampf beginnende Zwerchfell wird ihn abzubrechen gezwungen, weil die fortdauernde Lungendehnung durch Summation stärker und stärker werdende Hemmungskräfte in's Leben ruft.

Meistens wird ein Vagus genügen, die Athemkrämpfe zu hindern; ist der krampfmachende Impuls dagegen sehr mächtig, so kann es wohl vorkommen, dass diese Hemmung nicht zureicht. Dann brechen die Krämpfe schon nach einseitiger Vagusdurchschneidung aus, wie wir dies in der That mehrmals beobachtet haben.

Wir glauben, dass diese Deutung allen Ansprüchen gerecht wird; sie lässt sich aber auch experimentell auf ihre Richtigkeit prüfen.

Wir ersannen dazu folgenden Versuch.

Einem grossen, tief chloralisirten Kaninchen wird nach voraufgegangener Tracheotomie und Unterbindung der Carotiden der linke Vagus durchschnitten. Darauf Gross- und Mittelhirn ohne grössere Blutung exstirpirt. Die auf der Kymographiontrommel verzeichnete Athmung ist normal rhythmisch, durchaus nicht krampfhaft.

Darauf wird auf der rechten Seite nach Spaltung der Haut und der intercostalen Musculatur der Pleurasack eröffnet, in die Brustwunde eine Glascanüle eingelegt.

Sofort treten Inspirationskrämpfe auf.

Wird die Canüle entfernt, die Pleurawunde durch Verschiebung der Weichtheile geschlossen, so sind die Athemkrämpfe nur geringfügig. So wie man wieder öffnet und offen hält, stellen sie sich mit grosser Heftigkeit wieder ein.

In Fig. 5 ist ein Theil dieses Versuches wiedergegeben.

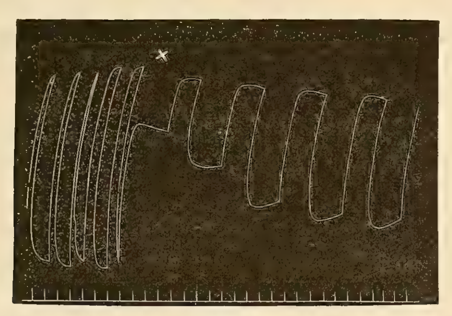


Fig. 5.
Zeitmarken = 5 Secunden. — Anfangs ist der Pneumothorax fast geschlossen, bei × durch Einlegen der Canüle geöffnet.

Dieser Versuch ist in folgender leicht verständlicher Absicht ausgeführt worden. Wenn man beim enthirnten Thiere den zu einer Lunge zugehörenden Vagus durchtrennt, die andere Lunge aber durch Eröffnung des betreffenden Pleurasackes verhindert, selbst bei starken Inspirationsbewegungen ihr Volumen zu verändern, so müssen, falls unsere Erklärung richtig ist, Athemkrämpfe auftreten, wie wenn beide Vagi durchschnitten worden wären. Das war, wie man sieht, in der That der Fall.

Wir haben diesem gewiss einleuchtenden Versuche nur noch ein paar Worte hinzuzufügen. Seine Anstellung macht die Voraussetzung, dass der

rechte Vagus sich lediglich in der rechten Lunge, der linke allein in der linken verzweigt. Die Richtigkeit dieses Satzes ist indess zweifelhaft.[1] Auch der weitere Verlauf unseres Experimentes scheint diesem Zweifel Recht zu geben.

Die nach Eröffnung der Pleura sich einstellenden Athemkrämpfe wurden nämlich, offenbar in Folge von Dyspnoe, tiefer und tiefer. Als der Tiefstand des Zwerchfells ein maximaler geworden war, verschwanden die Krämpfe und machten gewöhnlichen, tiefen und viel frequenteren Athembewegungen Platz.

Nimmt man an, jeder Vagus sende zwar die Hauptmasse seiner Fasern zur gleichnamigen Lunge, einen kleinen Theil aber auch zur anderen, so ist leicht zu verstehen, wie (in unserem Falle) die mässige inspiratorische Vermehrung des Volumens der rechten Lunge die Athemkrämpfe nicht zu beseitigen vermochte, die stärkste Aufblähung dagegen, in welche diese Lungenhälfte durch die maximal entfalteten inspiratorischen Kräfte versetzt wurde, ausreichend sein konnte, die regulatorischen Kräfte der wenigen diese Lunge noch mit dem Athemcentrum verbindenden Vagusfasern zur Geltung zu bringen.

Die Beweiskraft des Versuches scheint uns durch diesen seinen weiteren Verlauf nicht nur nicht alterirt, sondern bekräftigt zu werden.

Ziehen wir nach alledem die letzten Schlüsse aus den vorliegenden Experimenten, so müssen wir sagen:

Die bei Kaninchen nach Ausschaltung der oberen Hirnbahnen und Durchschneidung der Vagi sich häufig einstellenden Athemkrämpfe sind nicht der Ausdruck eines Unvermögens des isolirten Athemcentrums, anders wie in regellosen Krämpfen seine Thätigkeit darzuthun, sondern sie sind eine nebensächliche, zuweilen ausbleibende, in ihrer Intensität und Dauer schwankende Folge der Hirnverletzung. Wenn die Erscheinung ausbleibt, so lange die Vagi unversehrt sind, so rührt das nicht daher, dass diese Nerven zur Erzeugung einer krampflosen rhythmischen Athmung nothwendig sind, sondern weil sie befähigt sind, die Athmungstiefe und die Dauer der Athem-

[1] Aus anatomischen Untersuchungen von Arloing und Tripier geht hervor, dass die beiden Vagi vor ihrem Eintritt in die Lunge mit einander anastomosiren. (*Archives de physiologie etc.* 1875. t. V. Nr. 2. p. 175.) Die Deutung dieser Autoren weicht freilich von der von uns für wahrscheinlich gehaltenen ab.

phasen zu reguliren, und demzufolge die Inspirationskrämpfe im Keime zu ersticken.

Noch bedürfen die S. 295, 296 sub 6 und 7 gemachten Angaben über die Erzielung von Apnoe und Dyspnoe nach Isolation des Athemcentrums einer kurzen Besprechung.

Dass, wie wir gefunden haben, das isolirte Athemcentrum in der Erstickung sich ebenso verhält, wie das nicht isolirte, ist eine Thatsache, die in Uebereinstimmung steht mit der Angabe von Loewy, dass die Regulirung der Athmung durch die Blutbeschaffenheit von dem medullären Athemcentrum allein, ohne Zuhilfenahme peripherischer Verbindungen besorgt wird.

In demselben Sinne kann man wahrscheinlich auch die von uns bewiesene Apnoe des isolirten Centrums verwerthen. Marckwald sagt: „Hat man bei einem Kaninchen durch Abtrennung der Med. oblongata oberhalb des Athmungscentrums und Unterbindung der Vagi am Halse die bekannten Athemkrämpfe erhalten und leitet dann künstliche Respiration in sehr ausgiebiger Weise ein, so kann man diese Einblasungen eine halbe Stunde lang und länger fortsetzen, ohne Apnoe zu erzielen, trotzdem das Blut zweifellos in dieser Zeit mit Sauerstoff gesättigt ist. Während der ganzen Dauer der künstlichen Athmung bestehen aber die Athemkrämpfe fort u. s. w.“ . . . „Lange Zeit glaubte ich“, fährt Marckwald fort, „dass solche Thiere überhaupt nicht apnoisch zu machen wären. Das ist nicht richtig. Es gelingt, bei besonders ausgiebiger und zumal sehr frequenter, lange fortgesetzter künstlicher Athmung auch bei geköpften und vagotomirten Thieren eine Apnoe herzustellen.“

Uns ist es weit leichter geworden, eine Apnoe zu erzielen. Ueberhaupt will es uns scheinen, dass die Nothwendigkeit der Vagi für das Zustandekommen der Apnoe von vielen erheblich überschätzt wird. Uns gelang es häufig, vagotomirte Thiere, so oft wir wollten und ohne übertrieben lange künstlich zu athmen, in langdauernde volle Apnoe zu versetzen. Dass bei unversehrten Vagi die mechanische Reizung derselben durch die Einblasungen das Zustandekommen der Athemruhe begünstigen und deren Dauer vermehren kann, wollen indessen auch wir nicht in Abrede stellen.

Zwölfte Mittheilung.

Die Exspirationsbewegungen der Frösche.

Der Athmungsmechanismus des Frosches ist in der neueren Zeit wieder Gegenstand eingehender und sorgfältiger Untersuchungen gewesen.[1] Trotz der Förderung aber, die das Verständniss dieses verwickelten Vorganges durch sie erfahren hat, ist doch noch Manches zweifelhaft oder dunkel geblieben.

Allenthalben findet man, bei älteren wie bei neueren Autoren, die Angabe, dass bei der Ausathmung des Frosches Muskelkräfte wirksam sind; allein ausser der directen Beobachtung und allenfalls der graphischen Darstellung ist kein Mittel benutzt worden, eine solche Activität zu erweisen. Freilich machen die Bewegungen, die man an der seitlichen Bauchwand des athmenden Frosches sieht, die sogenannten Flankenbewegungen, durchaus den Eindruck, als seien sie durch schnell verlaufende Muskelcontractionen entstanden. So leicht, wie zu sehen, sind sie auch aufzuzeichnen.

Indess ist das noch nicht entscheidend. Schon lange zweifelnd, habe ich jetzt, als ich daran gehen wollte, die Centren der Exspirationsbewegungen beim Frosche zu studiren, mich genöthigt gesehen, die Frage nach ihrer activen Natur experimentell zu entscheiden. Ich gelangte dabei zu der Ueberzeugung, dass bei der gewöhnlichen Athmung des Frosches exspiratorische Muskelkräfte nicht zur Verwendung kommen, dass wir es bei der Ausathmung mit einem durchaus passiven Vorgang, mit dem Spiel der elastischen Kräfte der Lungen zu thun haben.

Die Beobachtungen sind sämmtlich an R. esculenta angestellt; zur Aufzeichnung der Flankenbewegungen diente ein einarmiger Fühlhebel, der unweit seines Drehpunktes einen kurzen, senkrechten Fortsatz trug, welcher auf der Flanke des in der Regel in Seitenlage festgehaltenen Thieres ruhte. Die Aluminiumblechspitze des Hebels schrieb auf die rotirende Trommel.

In seiner bemerkenswerthen Mittheilung über die Nervencentren des Frosches theilt Schrader[2] über die Athmungsinnervation u. A. Folgendes mit:

[1] Newell Martin in *the Journal of Physiology.* 1878. Vol. I. p. 131; — N. Wedenskii in Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1881. Bd. XXV. S. 129.

[2] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XLI. S. 89.

„Trennt man in der Höhe der Spitze des Calamus scriptorius das Kopfmark vom Rückenmark durch einen glatten Querschnitt, so stellt sich sehr bald die Athmung von Nase, Kehlkopf und Mundboden wieder her, aber auch die Musculatur des Rumpfes betheiligt sich an den ausgiebigeren Athembewegungen. Unterdrückt man die Respiration des Vorderthieres, so hört auch die des Rückenmarkthieres auf. Wahrscheinlich handelt es sich um einen Reflexvorgang."

Offenbar sind die Flankenbewegungen gemeint. Die Beobachtung ist leicht zu bestätigen.

Durchtrennte ich bei frischgefangenen lebenskräftigen Fröschen das Mark zwischen Calamusspitze und Brachialisursprung, so traten alsbald Athembewegungen wieder auf, die von ihrem früheren Charakter nichts verloren hatten. Die wahren, mit Schliessung der Nasenlöcher einhergehenden Athembewegungen verbanden sich mit den bekannten Bewegungen der Flanken. Zuweilen sah man, wie man das auch am unverletzten Frosche wahrnehmen kann, durch eine Reihe von Einathmungen die Lunge vollgepumpt und nach Erreichung eines gewissen Füllungsgrades durch eine Reihe von Ausathmungen wieder entleert werden (die „einpumpenden" und „entleerenden" Bewegungen Wedenskii's).

Bohrte ich die vor dem Schnitte gelegenen Centraltheile aus, so verschwanden mit den Einathmungen auch die Flankenbewegungen und kehrten nicht mehr wieder, obwohl das Hinterthier (bei kühler Temperatur) noch lange am Leben blieb.

So weit gelangt, glaubte auch ich es mit einem Reflex zu thun zu haben, da die in Betracht kommenden Muskeln zweifellos nicht vom Kopfmark, sondern vom Rückenmark innervirt werden (s. später). Auffallend war mir allerdings, dass es mir niemals gelingen wollte, bei oblongatalosen Fröschen, die jegliche Athmung eingebüsst hatten, durch künstliche Lufteinblasung in die Lungen active Flankenbewegungen reflectorisch zu erzeugen. Weder rhythmische Einblasungen, noch dauernde Aufblähung der Lungen und mit ihnen der Bauchwand hatten den mindesten Erfolg.

Weitere Versuche zeigten, warum das so sein musste.

Als ich nämlich bei Fröschen, die die hohe Markdurchschneidung erlitten hatten, das ganze Rückenmark zerstörte, blieben mit den Kehl- und Kehlkopfathmungen auch die Athembewegungen der Flanken bestehen, und zwar in einer von der früheren nicht oder nur unwesentlich — in Folge von Veränderungen der Inspirationsbewegungen — verschiedenen Weise.[1]

---

[1] Man thut gut daran, die Zerstörung des Rückenmarkes der Durchschneidung erst nach einiger Zeit folgen zu lassen. Man hat dann mehr Aussicht, die Athmung

Insbesondere war auch das zeitliche Verhältniss von Flankenathmung und Kehlbewegung das gleiche geblieben: die Flankenbewegung ging, ganz wie es N. Martin beschreibt, der Hebung des Mundbodens kurz vorher, so dass die kaum entlastete Lunge sofort durch die Verkleinerung des Kehlraumes wieder neue Füllung erhielt. Dann erst kam die Senkung der Kehle und die Pause, die nur durch die bekannten, auch auf die Lungen sich schwach übertragenden „Oscillationen" des Zungenbeinapparates unterbrochen ist.

Ich theile hier die drei Curvenreihen mit, die von einem und demselben Frosche aufgenommen worden sind:

1. nach alleiniger Abtragung des Grosshirns (um nicht allzu sehr durch Unruhe gestört zu werden);

2. nach Durchschneidung des Rückenmarks dicht unter der Oblongata;

3. nach Ausbohrung des Rückenmarks von der Schnittstelle aus und Tamponirung der Wirbelhöhle durch ein Holzstäbchen.

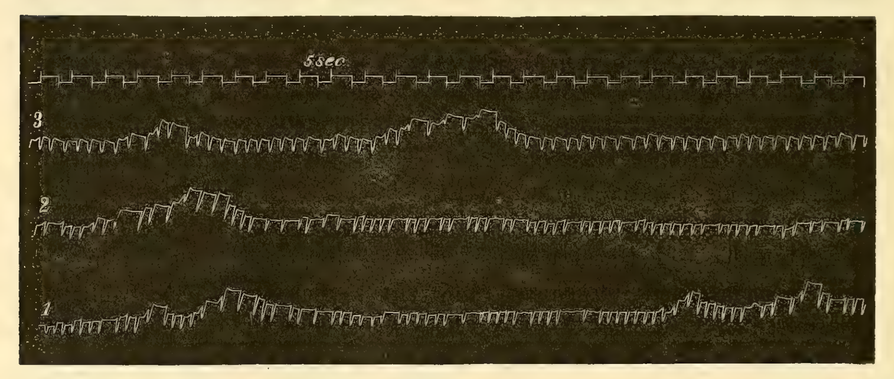


Fig. 1.

Die Bauchmuskeln des Frosches erhalten ihre Nerven sämmtlich von Theilen des Rückenmarkes, die unterhalb der Schnittstelle in meinen Versuchen gelegen sind.[1] Eine active Betheiligung derselben ist somit un-

---

völlig erhalten zu sehen, wie wenn man sofort ausbohrt. Noch kürzlich hat Ustimowitsch (*dies Archiv*, 1887, S. 185) hervorgehoben, dass auch beim Säugethier ein solches Verfahren nützlich ist, wenn man das Thier trotz der Markzerströrung am Leben erhalten will.

[1] In meiner VIII. Mittheilung (*dies Archiv*, 1887) hatte ich angegeben, dass nach Heinemann die respiratorisch wirksamen Bauchmuskeln vom ersten Spinalnerven versorgt werden. Das war natürlich ein von mir begangener Irrthum. Die Angaben Heinemann's beziehen sich lediglich auf einen bestimmten Theil des M. obliquus abdominis internus, nämlich auf die zuerst von Daudin erwähnte, den Schlund

denkbar. Die Flankenbewegung, d. h. also die Ausathmung, muss ohne sie zu Stande kommen.

Man kann sich von dem Vorhandensein normaler Exspirationen trotz vollständigen Fehlens der Bauchmuskeln leicht überzeugen.

Ich machte folgenden Versuch:

Einem kleinen Frosche wird das Rückenmark dicht unter dem ersten Wirbel durchschnitten (durch die spätere Section bestätigt!). Nach einiger Zeit (etwa 12 Uhr Vormittags) wird das Rückenmark von der Schnittwunde her ausgebohrt, der Rückenmarkscanal tamponirt. Bald hat sich die vorübergehend erloschene Athmung in fast normaler Weise wieder hergestellt. Flankenbewegungen so wie am unverletzten Frosch (s. Fig. 2).

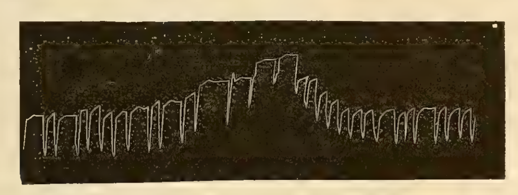


Fig. 2.

Der Frosch wird bis zum nächsten Tage in einem kühlen Raume aufbewahrt.

Am nächsten Tage wird nach längeren graphischen Beobachtungen die ganze weiche Bedeckung des Rückens, der Flanken, des Bauches vollständig abgetragen, die Wirbelsäule mitten durchschnitten, so dass die mit Luft gefüllten Lungen nebst sämmtlichen Baucheingeweiden völlig frei liegen.

Die Athmung ist dadurch zunächst kaum beeinflusst worden. Ganz deutlich sieht man jetzt bei den tiefen Athemzügen die von der Musculatur völlig unbedeckten Lungen kräftige Zusammenziehungen machen, die ganz den Charakter der früheren Flankenbewegungen tragen. Sowohl ihr zeitliches Auftreten (vor der Hebung der Kehle), als ihre Form entspricht denselben vollständig. Die Zusammenziehung erfolgt plötzlich,

---

zwerchfellartig umschliessende, die Lungen überlagernde Partie dieses Muskels (s. Ecker, *Anatomie des Frosches.* S. 82 und 83. Figg. 65 und 66). Ich will sie die Portio diaphragmatica des schiefen inneren Bauchmuskels nennen. Unter dem ersten Spinalnerven Heinemann's ist offenbar nicht der N. hypoglossus, sondern der N. brachialis zu verstehen. Wenigstens sehe ich von diesem Nerven zum M. obliquus int. einen Zweig verlaufen, dessen Reizung Contractionen in diesem Muskel, besonders auch in seiner Portio diaphragmatica hervorbringt.

Die Innervation der übrigen Theile der Bauchmuskeln besorgen die noch tiefer entspringenden Rückenmarksnerven.

schnellend, wird sofort durch die Inspiration coupirt. In den Athmungspausen sind auch vielfach[1] die bekannten fortgeleiteten Oscillationen an den Lungen erkennbar. Ich gebe in Fig. 3 eine graphische Aufnahme wieder.

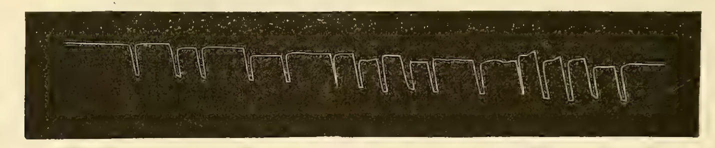


Fig. 3.

Die Betrachtung der Zusammenziehungen der freigelegten Lunge erweckt völlig die Vorstellung, als ob es sich um active Contractionen der Lungenwand handle. Ein unbefangener Beobachter, der nichts von dem histologischen Bau der Lungen wüsste, oder dem es unbekannt wäre, dass glatte Muskeln sich nur sehr träge zusammenziehen, würde diese Zusammenziehungen mit denen des Herzens vergleichen und für die Aeusserungen in den Lungenwänden verborgener Muskelkräfte halten.[2]

Von allen zu den Bauchmuskeln zu rechnenden Theilen war nur die Portio diaphragmatica des inneren schiefen Bauchmuskels verschont geblieben. Zum Ueberfluss durchschnitt und zerstörte ich auch sie nachträglich, ohne dadurch das geringste in dem Bilde zu verändern.[3]

Es bleibt somit nichts übrig, als für die exspiratorischen Zusammenziehungen der Lunge und damit auch für die durch sie hervorgerufenen Flankenbewegungen lediglich die Elasticität der Lungen verantwortlich zu machen.

Man könnte freilich sagen: allerdings kommt, wie die hier geschilderten Beobachtungen darthun, das Zusammensinken der Lungen auch ohne irgend welche Muskelkräfte in einer der normalen anscheinend ganz ähnlichen Weise zu Stande; damit ist aber noch nicht ausgeschlossen, dass beim unverletzten Thiere den hier nachgewiesenen elastischen Kräften sich noch von den Bauchmuskeln gelieferte Kräfte beigesellen. Abgesehen davon, dass uns das als eine nutzlose Verschwendung von Muskelanstrengung erscheinen müsste, lässt sich gegen diese Auffassung auch einwenden, dass, wenn man bei unverletzten Thieren die Flankenhaut entfernt, und so die darunter liegenden Muskeln dem Auge direct zugänglich macht, man an

[1] Wenn auch nicht gerade auf der mitgetheilten Zeichnung.

[2] Ich bemerke beiläufig, dass sich dieser Versuch mit einigen Veränderungen sehr zum Schulexperiment eignen würde. Zur Erläuterung der principiellen Verschiedenheit des Athmungsmechanismus des Frosches und der Säugethiere lässt sich kaum eine anschaulichere Demonstration denken.

[3] Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, dass ich denselben Abtragungsversuch mit gleichem Erfolg auch an Fröschen mit intactem Centralnervensystem angestellt habe.

diesen nicht das Mindeste wahrnehmen kann, was auf eine active Zusammenziehung schliessen liesse. Die athmende Bauchwand bietet durchaus denselben Anblick, wie die eines rückenmarklosen Thieres.

Die Ursache für das Zustandekommen des plötzlichen Lungencollapses und seines schnellen Abbrechens ist leicht zu finden.

Nachdem eine Hebung des Mundbodens bei geschlossenen Nasenöffnungen und geöffneter Athemritze Luft in die Lunge gepumpt hat, schliesst sich die Glottis, öffnet sich die Nase und steigt der Mundboden wieder herab, wodurch sich der Kehlraum wieder mit Luft füllt. Oeffnet sich jetzt plötlzich die Athemritze wieder, so müssen die lufthaltigen Lungen, ihrem elastischen Gleichgewicht zustrebend, plötzlich collabiren;[1] dieser Collaps würde anfangs mit grosser, später mit abnehmender Geschwindigkeit stattfinden müssen — bei irregulär athmenden Fröschen kann man das in der That ab und zu sehen —; für gewöhnlich wird er aber sehr schnell dadurch aufgehalten, dass der Oeffnung der Glottis alsbald eine neue Kehlraumverengerung, ein neues Einpumpen von Luft in die Lunge folgt.

An den Flankencurven bedeutet somit der absteigende Theil der Curve (a) den Lungencollaps, der aufsteigende (b) die schnelle Wiederanfüllung durch Einpumpung. Ist $a = b$, d. h. wird durch Inspiration ebenso viel ersetzt, wie durch Exspiration verloren ging, so entstehen die von Wedenskii als „ventilirende“ Athembewegungen bezeichneten Formen. Ist $a < b$ und wiederholen sich solche Perioden mehrmals hinter einander, so kommt es zu einer oft sehr bedeutenden Lungenblähung („einpumpende“ Bewegungen Wedenskii's); ist endlich mehrmals hinter einander $a > b$, so wird die gefüllte Lunge erheblich entlastet („entleerende“ Bewegungen Wedenskii's).

Noch ein Moment wäre zu betrachten, an dessen Wirksamkeit beim Zusammensinken der Lungen gedacht werden könnte. Ich meine die Erweiterung des Kehlraumes, deren Maximum mit dem Lungencollaps zusammenfällt (Martin). Es wäre denkbar, dass hierdurch eine Ansaugung nach der Mundhöhle sich geltend machte. Eine solche ist aber unwahrscheinlich, weil die Erweiterung des Kehlraumes bei offenen Nasenlöchern statthat. Eine Einsaugung von atmosphaerischer Luft und damit der Druckausgleich ist deshalb schon erfolgt, wenn die Athemritze sich öffnet.

Ist durch die vorliegende Untersuchung der Nachweis geführt, dass bei der normalen Athmung des Frosches die Exspiration lediglich durch

[1] Martin meint, die Eröffnung der Glottis sei eine passive durch die Austreibuug von Lungenluft mittels der Flankencontraction herbeigeführte. Diese Ansicht theile ich natürlich nicht.

elastische Kräfte besorgt wird, so ist damit noch nicht behauptet, dass bei angestrengter Athmung oder unter anderen abnormen Bedingungen nicht auch exspiratorische Muskelkräfte in Action treten.

In der That habe ich Beobachtungen dieser Art gemacht, doch muss ich ihre Mittheilung für später verschieben, da daran sich anschliessende Untersuchungen noch nicht zu Ende geführt sind.

Diese Abhandlung war so weit im Manuscript abgeschlossen, als ich den achten Beitrag zur Lehre von der Athmungsinnervation von Knoll erhielt. Bezüglich der Exspirationsbewegungen beim Frosch ist Knoll zu derselben Schlussfolgerung gelangt, wie ich. Ich glaube, dass seine S. 7 (des Separatabzuges) angeführten Gründe durch die hier dargestellten Versuche — besonders auch durch die graphischen Nachweise — wesentlich gestützt werden.

Ueber Becherzellen im Dünndarmepithele der Salamandra maculosa.

Von

Julius Steinhaus.

(Aus dem pathologischen Laboratorium der kaiserl. Universität Warschau.)

(Hierzu Taf. VI—VIII.)

Auf einen Vorschlag des Hrn. Prof. S. M. Lukjanow und mit seiner freundlichen Unterstützung, für welche ich meinen herzlichsten Dank zu sagen mich gedrungen fühle, unternahm ich es, den Dünndarm auf sein Epithel und seine sogenannten Becherzellen hin einer nochmaligen Untersuchung zu unterwerfen. Ueber die Resultate der Untersuchung der Becherzellen will ich jetzt berichten;[1] die feinere Morphologie der Epithelzellen, speciell der Epithelzellkerne wird den Gegenstand einer in nicht entfernter Zukunft erscheinenden Abhandlung bilden.

Die Litteratur über Becherzellen ist ziemlich gross; da ich keine Monographie zu schreiben beabsichtige, sondern nur über die Resultate meiner Untersuchung berichte, will ich sie hier weder zusammenstellen noch besprechen.[2] Ich möchte nur die verschiedenen Ansichten über Becherzellen anführen, die noch jetzt, wie vor einigen Decennien, sich schroff entgegenstehen. Nach den Einen sind die Becherzellen in Schleimmetamorphose begriffene Zellen, nach den Anderen sind sie einzellige Schleimdrüsen; andere wieder meinen, Becherzellen existiren im lebenden Organismus gar nicht, sie seien Artefacte (letztere Ansicht wird speciell

[1] Eine vorläufige Mittheilung habe ich in der 2. Sitzung der wissenschaftlichen Section des Warschauer Gärtner-Vereins am 19. Januar d. J. gegeben.

[2] In der ausführlichen Arbeit J. H. List's (*Archiv für mikroskopische Anatomie*, 1886, Bd. XXVII) „Ueber Becherzellen“ findet sich eine sorgfältige Zusammenstellung der Becherzellenlitteratur.

bezüglich der Darmbecher in der Litteratur angeführt[1]). Drasch[2] sieht in den Becherzellen der Trachea Uebergangsstadien zwischen Keilzellen und Flimmerzellen. Letzerich[3] spricht den Darmbechern Zellnatur ab, findet in ihnen weder Protoplasma, noch Kern, und glaubt in ihnen die Wege (Schläuche) gefunden zu haben, durch welche Nahrungsstoffe aus dem Darme in die Chylusräume wandern.

Der Beschreibung meiner Befunde muss ich noch einige Bemerkungen über meine Untersuchungsobjecte und Untersuchungsmethoden voraussenden.

Mein Hauptobject — und hier werde ich nur über das an ihm gefundene berichten — war die Salamandra maculosa. Verschiedene Froscharten, Tritone, Hunde und Kaninchen kamen auch zur Untersuchung, doch verweilte ich mit Vorliebe an dem Prachtobjecte Salamandra, so dass die Beobachtungen an jenen Objecten noch nicht zu Ende geführt werden konnten.

In die Details des anatomischen Baues des Salamanderdünndarmes hier näher einzugehen, wäre nicht am Platze. Nur so viel werde ich sagen, dass von den drei Apparaten, die man schematisch im Dünndarme unterscheiden kann, hier (wie im Allgemeinen bei den Amphibien) nur zwei zugegen sind, nämlich ein Bewegungs- und ein Resorptionsapparat, ein Secretions- resp. Drüsenapparat fehlt. Der Bewegungsapparat besteht aus der Muskelhaut und der serösen Umhüllung derselben. Den Resorptionsapparat bildet eine zickzackförmig gefaltete Schleimhaut, wie gewöhnlich aus bindegewebigem Substrate und Epithelschicht bestehend. Drüsen sind, wie gesagt, nicht vorhanden.

Die zur Untersuchung verwendeten Salamander — ausgewachsene Thiere — waren zum Theil hungernde, zum Theil gefütterte Exemplare; Magen, Darm und Verdauungsfermente liefernde Drüsen ersterer waren mehr oder weniger im Zustande der Ruhe, letzterer in Thätigkeit. Ein Theil der gefütterten Thiere wurde noch zu stärkerer Function des Darmcanals durch Pilocarpin gereizt. Die Schleimabsonderung war dabei viel energischer und die Zahl der Becher viel grösser, als bei nichtpilocarpinisirten Thieren. Unter Pilocarpinwirkung (es wurden 2 ^{mgrm} in 1procentiger

---

[1] Lipsky (Beiträge zur Kenntniss des feineren Baues des Darmcanals; *Wiener Sitzungsberichte*, Bd. LV, Abth. I) sagt direct, es werden, wenn man den Darm einer eben getödteten Katze in eine Lösung von doppelchromsaurem Kali legt, fast alle Zellen, sowohl des Dünn- als auch des Dickdarmes, in Becher umgewandelt.

[2] Drasch, Regeneration des Flimmerepithels der Trachea. *Wiener Sitzungsberichte*, Bd. LXXX, Abth. 3.

[3] Letzerich, Resorption verdauter Nährstoffe. Virchow's *Archiv*, 1866, Bd. XXXVII.

wässeriger Lösung mit Pravaz'scher Spritze *per os* eingeführt) verweilten die Thiere $1\frac{1}{2}$—$2\frac{1}{2}$ Stunden, wonach ihnen die Bauchhöhle geöffnet und der Dünndarm herausgeschnitten wurde. Die Fixirung geschah mittels Sublimat, dann kam Härtung in Alkohol, wonach bei sorgfältigem Gebrauch aller üblichen Uebergangsflüssigkeiten Einbettung in Paraffin folgte. Schnitte (von $^1/_{200}{}^{mm}$ Dicke) wurden mit dem Leitz'schen Mikrotome gefertigt und mit destillirtem Wasser auf das Objectglas angeklebt.

Die Färbung war eine sehr complicirte und darum auch eine höchst differenzirende. Ich verwandte nämlich in der Mehrzahl der Fälle die vierfache Färbung (auf dem Objectglase) mittels Haematoxylin (nach Boehmer), Nigrosin, Eosin (Spirituslösung) und Safranin, da ich an denselben Praeparaten ausser den Becherzellen noch andere Bestandtheile studirte, für deren Differenzirung obige Färbemethode sich als sehr geeignet erwies; für das Studium der Becher genügt es vollständig Haematoxylin mit Safranin zu combiniren, wobei nur eigene Praxis lehren kann, wie lange man jeden Farbstoff einwirken lassen muss. Von Wichtigkeit für das Studium der Becher ist noch die Pikrinsäure (nach Altmann: $2 \cdot 5^{grm}$ Pikrinsäure, 35^{grm} Alkohol, 70^{grm} dest. Wasser). Nach vollendeter Tinction lässt man die Säure eine kurze Zeit auf die Schnitte einwirken und wäscht sie dann in absolutem Alkohol. Auch andere Tinctionen habe ich angewandt (verschiedene Carmine, Dahlia, Methylgrün u. s. w.), doch erwiesen sich diese Methoden für das Studium der Entwickelung der Becher als ungeeignet.

In die Details der von mir angewandten Fixirungs-, Härtungs- und Einbettungsmethoden glaube ich nicht eingehen zu müssen; dieselben, sowie die Methodik der vierfachen Färbung, sind von Ogata[1] genau beschrieben worden; ich änderte nur das eine, dass ich, statt einfacher Paraffineinbettung, mitunter Photoxylin mit Paraffin combinirte.[2] Endlich muss ich noch bemerken, dass ich bei meiner Untersuchung die apochromatische Oelimmersionslinse von Zeiss mit Apertur 1·30 und aequiv. Brennweite $2 \cdot 00^{mm}$, combinirt mit den Compensationsocularen 4 und 8, gebrauchte; die Abbildungen (sämmtlich nach vierfach gefärbten Praeparaten) sind von mir mit Hülfe des Zeichenapparates von Abbe (ausschliesslich bei Ocular 8) entworfen worden.

Das Epithel des Salamanderdünndarms ist einschichtig, aus cylindrischen Zellen bestehend, die in einen Fuss, der sich in der bindegewebigen

[1] Masanori Ogata, Die Veränderungen der Pankreaszellen bei der Secretion. *Dies Archiv*, 1883.

[2] Vergl. hierüber S. M. Lukjanow, Notizen über das Darmepithel bei Ascaris mystax. *Archiv für mikroskopische Anatomie*, Bd. XXXI, Hft. 2.

Unterlage verliert, übergehen. Die freie Oberfläche der Zellen ist mit Stäbchen besetzt. Die Kerne dieser Epithelzellen sind von sehr verschiedener Form und bieten eine Unmasse interessanter Structureigenthümlichkeiten.

Zwischen den Zellfüssen finden sich Kerne von geringer Protoplasmamenge umgeben, die sogenannten Ersatzkerne, resp. Ersatzzellen. Zwischen den Epithelzellen trifft man in wechselnder Quantität sogenannte Becherzellen.

Das Protoplasma der Epithelzellen färbt sich (bei vierfacher Färbung) hellviolett, seltener rosa, der Stäbchenbesatz ähnlich, doch immer intensiver.

Die Kerne sind, wie schon erwähnt, höchst verschiedenförmig, doch kann man in diesem Gewirr die als ruhende, normale zu bezeichnenden Kerne leicht von den in dieser oder jener Weise veränderten unterscheiden. Die normalen Kerne sind von ovaler oder etwas länglicher Form; sie liegen annähernd in gleicher Entfernung vom Fusse, wie vom Stäbchenbesatze und meistentheils seiten- bis randständig. Ihr Gerüst färbt sich (vierfache Färbung) blau-violett (alle möglichen Nuancen) bis roth (Figg. 1, 4, 6, 7, 8, 11, 12).

Diese Verschiedenheit der Färbung ist kein blosser Zufall, sondern wir haben es hier mit dem Ausdrucke chemischer Verschiedenheit zwischen den einzelnen Kernen zu thun. Bei Gelegenheit einer Untersuchung pathologischer Neubildungen im menschlichen Organismus, die im hiesigen pathologischen Laboratorium ausgeführt worden, ist es Hrn. August Kosinski[1] gelungen zu beweisen, dass bei Doppelfärbung der Kerne mit den zwei Kernfarben Haematoxylin und Safranin (dabei muss Ueberfärbung mit Haematoxylin sorgfältig vermieden werden) das Gerüst ruhender Kerne sich blauviolett färbt, in den ersten Stadien der Karyokinese violettröthlich, dann aber immer röther und röther, bis endlich das Chromatin der in weiteren Stadien der Karyokinese sich befindenden Kerne (Mutterstern u. s. w.) prachtvoll roth gefärbt erscheint. Diese Färbung behält das Chromatin während der ganzen Zeit der Karyokinese und später noch, bis die jungen Kerne auf dem Wege zur vollständigen Reife stufenweise zur blau-violetten Färbung ihres Chromatins kommen.[2]

Dasselbe kann ich für normale Epithelien bestätigen.

---

[1] A. Kosinski, Ueber verschiedene Färbung der Kerne im Zustande der Ruhe und der Mitose u. s. w. *Wratsch*, 1888 (russisch).

[2] Bei Einzelfärbung der Kerne (z. B. mit Dahliablau oder Methylgrün) kann man ebenfalls alte Kerne von jungen unterscheiden. In den jungen färbt sich der Kerninhalt fast *in toto* intensiv blau, grün u. s. w., in alten nur die Kernkörperchen und das Netzwerk des Gerüstes, die Substanz zwischen den Gerüstfäden aber nicht. Die karyokinetischen Figuren (bez. ihr Chromatin) färben sich bei solchen Einzelfärbungen ebenso intensiv, wie die jungen Kerne.

Diese differente Färbung verschiedener Kerne giebt uns auch die Möglichkeit, die bis jetzt ziemlich unklar praecisirten „Kernkörperchen" schärfer in's Auge zu fassen und von den sogenannten Netzknoten zu unterscheiden.

Die Ansicht, dass die Nucleolen mit den Netzknoten identisch sind, muss wohl vor der anderen Ansicht, wonach beide verschiedene Gebilde sind, weichen. Dafür sprechen ihr verschiedenes Verhalten gegen Farbstoffe, ihre Unterschiede im Lichtbrechungsvermögen und ihre Contoure, die bei Netzknoten nie so scharf und deutlich hervortreten, wie bei echten Nucleolen.

Die Kernkörperchen sind glänzende, meist runde oder rundliche Gebilde; ihre Mehrzahl färbt sich bei Gebrauch doppelter Kernfärbung mittels Haematoxylin und Safranin roth, doch dieses Roth ist leicht von dem der Netzknoten rother Kerne zu unterscheiden. Eine viel geringere Zahl färbt sich blauviolett, doch dieses Blauviolett ist ein anderes, als das der blauviolett gefärbten Netzknoten. Erstere sind die sogenannten Plasmosomen, letztere die sogenannten Karyosomen.

Zwischen den Epithellzellen finden sich, wie bekannt, die Becherzellen.

Solche in vollständiger Entwickelung stellen die Abbildungen, z. B. Fig. 2 und 3, vor. In ihrer Form weichen sie von den gewöhnlichen Epithelzellen darin ab, dass sie in der Mitte aufgedunsen und am oberen Ende abgerundet sind. Der Fuss ist mit dem der Epithelzellen identisch. Am oberen Ende des Bechers befindet sich eine Oeffnung (Stoma), durch welche eine allgemein als mucinös angenommene Masse in den Darm sich ergiesst (*a* = Stoma, *b* = mucinöse Massen in den Figuren).

Dieselbe mucinöse Masse füllt den grössten Theil des Bechers aus, nur ist sie hier nicht homogen, wie die aus dem Becher heraustretende; man erkennt in ihr netzartig sich verbindende Fäden, vacuolenähnliche Gebilde[1] und verschiedene Körnchen, die an Nucleolen erinnern.

Doch ist diese Structur in vollständig entwickelten, secernirenden Bechern nicht in der ganzen mucinösen Masse zu sehen. Ein Theil des Inhalts, zumeist das dem Stoma am nächsten liegende, hat Structur vollständig verloren und ist den homogenen herausgestossenen Massen gleichwerthig.

Der Fuss der Becherzelle bleibt bis zu Ende protoplasmatisch. Charakteristisch ist es, dass der mucinöse Theil der Becherzelle vom protoplasmatischen Fusstheile durch einen scharfen Contour abgegrenzt ist. Im Fusse

[1] Die Bedeutung dieser vacuolenähnlichen Gebilde zu erklären ohne Zuhülfenahme von Hypothesen, ist einstweilen kaum möglich. Da ich die Becherzellen (exclusive Fuss) als metamorphosirte Kerne, wie weiter unten auseinandergesetzt sein wird, betrachte, so scheint mir die Annahme plausibel, dass wir in den Vacuolen metamorphosirte Kernkörperchen, die unfärbbar geworden sind, haben.

bemerkt man ziemlich oft (z. B. Fig. 3) längliche Gebilde, deren Bedeutung ich weiter unten zu erklären suchen werde.

Sowohl bei vierfacher Färbung, als auch bei doppelter Haematoxylin- und Safranin- oder einfacher Safraninfärbung nimmt der Becherinhalt eine orangerothe Färbung an (Safranintinction). Diese Farbenreaction ist von eminenter Wichtigkeit, ihr verdanke ich die Möglichkeit die Entwickelungsgeschichte der Becher zu studiren und bis zu einem gewissen Grade zu erklären. Das Protoplasma der Becherfüsse färbt sich, wie das der Cylinderzellen. Die länglichen Gebilde erscheinen roth bis rothviolett (Safranin-Haematoxylin).

So erscheint der fertige Becher; fragen wir, wie er zu Stande kommt, woraus und wie er sich bildet, und suchen wir darauf die Antwort in der Litteratur, so begegnen wir dort verschiedenen Erklärungen. Die Einen, wie ich schon in der Einleitung gesagt habe, sehen in den Becherzellen einzellige Schleimdrüsen; sie meinen, das Protoplasma der Zelle verwandle sich in Schleim, während der Kern nach unten rücke und sich dabei abplatte; nachdem der Schleim abgesondert ist, kehrt die Zelle zum *status quo ante* zurück und kann wieder und wieder Schleim produciren und absondern. Andere meinen, die Becherbildung führe zur schleimigen Metamorphose der ganzen Zelle sammt Kern, die Zelle gehe dabei zu Grunde und müsse durch eine neue ersetzt werden. Die Ansicht, dass die Becherzellen Artefacte sind, und die Ansicht Letzerich's werden wir nicht weiter besprechen, für uns müssen sie ein für allemal ausgeschlossen werden. Was die Ansicht Drasch's betrifft, so kann sie, wenn sie auch für die Trachea als richtig sich erweist, für die Darmbecher in keinem Falle gelten, denn hier entstehen dieselben aus den Cylinderzellen.

Die zwei ersten Ansichten sind wohl für gewisse Thiere und Organe richtig, für die Darmbecher der Salamander kann ich sie jedoch nicht gelten lassen, da ich hier einen ganz anderen Bildungsmodus der Becherzellen gefunden habe.

Es wird hier am Platze sein der Ansicht zu gedenken, die Hr. Prof. S. M. Lukjanow[1] in seiner Abhandlung über die Magenschleimhaut der Salamandra maculosa in Betreff der Bildung mucinoider Massen in den Zellen äussert. Dieser Ansicht nach wird die mucinoide Metamorphose vom Kerne eingeleitet und zwar von einem bestimmten Theile desselben. Dieser Befund leitet uns auf eine neue Bahn, und ich möchte hervorheben, dass er eine unzweifelhafte Verwandtschaft mit den Befunden besitzt, die mich zu der hier vertretenen Ansicht führten.

Bei systematischer Durchmusterung meiner Praeparate fielen mir, ausser fertigen Bechern und normalen Epithelzellen, noch einerseits Ueber-

[1] S. M. Lukjanow, Beiträge zur Morphologie der Zelle, Abhandlung I. *Dies Archiv*, 1887.

gangsstadien von letzteren zu ersteren, andererseits aber auch Metamorphosen letzterer auf, die — an und für sich höchst interessant — doch, wie es sich herausstellte, mit der Becherbildung im Dünndarme in keiner Beziehung stehen. In einer besonderen Abhandlung werde ich über diese Metamorphosen berichten; hier will ich mich mit den Vorgängen beschäftigen, die zur Becherbildung führen.

Doch muss ich, bevor ich zur Becherbildungsfrage übergehe, einige Befunde besprechen, die zwar damit nicht direct zu thun haben, wohl aber indirect in Verbindung stehen.

Zwischen den Epithel- und Becherfüssen finden sich Kerne von geringerer Protoplasmamenge umgeben, die in ihrem Baue und in den Farbenreactionen mit den Epithelzellkernen identisch sind. Diese Kerne resp. Zellen als lymphoide Wanderzellen aufzufassen liegt kein Grund vor: sie sind von diesen vollständig verschieden.[1] Die einzig mögliche Annahme ist die, dass wir hier mit Ersatzzellen *sensu proprio* zu thun haben. Stütze für diese Annahme geben folgende Thatsachen. Bei reichlich gefütterten, noch mehr aber bei pilocarpinisirten Thieren fand ich in diesen Kernen sehr viele mitotische Figuren, während bei hungernden Exemplaren Karyomitosis sehr selten zu sehen ist. Bei pilocarpinisirten Thieren begegnet man auf einem $^1/_{200}{}^{mm}$ dicken Darmschnitte 10, 20, selbst bis 40 mitotischen Figuren in den „Ersatzkernen", bei hungernden auf gleichem Schnitt oft gar keinen, höchstens aber 2 bis 4 solchen Figuren. Dann findet man noch bei pilocarpinisirten Thieren viel öfter als bei hungernden (dass Verhältniss ist hier dasselbe, wie für Mitose) Gebilde, die ihrer Form nach als Keilzellen zu bezeichnen sind (Fig. 4). Betrachten wir diese Keilzellen aufmerksam, so wird es uns vollständig klar, dass es emporwachsende Ersatzzellen sind; die Annahme, dass sie in ihrer weiteren Entwickelung zu Cylinderzellen werden, ist schon von vielen geäussert worden und scheint mir kaum auf Opposition stossen zu können. Somit haben wir einen Modus der Epithelzellregeneration.

Für die Existenz eines zweiten Regenerationsmodus sprechen auch viele Thatsachen. Wie die Abbildung Fig. 5, die mehr zufällig aus einer ganzen Reihe ähnlicher zur Publication gewählt worden ist, zeigt, erfolgt Karyokinese nicht nur in den Ersatzzellen, sondern auch in Cylinderzellen, obgleich seltener (doch habe ich auf einem meiner Praeparate in mehreren nebeneinander liegenden Cylinderzellen die Kerne in Mitose begriffen gesehen); als Resultat solcher Mitosen erscheinen zweikernige Cylinderzellen.[2]

---

[1] Damit soll aber nicht gesagt werden, dass ich in der Darmmucosa überhaupt keine Wanderzellen gefunden habe.

[2] Zweikernige Cylinderzellen hat vor Kurzem auch Grünhagen im Darme ge-

Fragen wir, was weiter mit beiden Kernen geschieht, so können wir auf Grund der von August Kosinski bewiesenen und von mir auf meinen Objecten bestätigten verschiedenen Färbung junger und alter Kerne diese Frage folgendermaassen beantworten. Beide Kerne entwickeln sich nicht gleichzeitig weiter. Der eine Kern, der obere, dem Stäbchensaume näher liegende (die Kerntheilungsaxe ist zur Längsaxe des Darmrohrs senkrecht gestellt), entwickelt sich weiter, seine Färbung (bei doppelter Kerntinction mittels Haematoxylin und Safranin), die Anfangs eine rothe, wie aller junger Kerne, war, wird mehr und mehr violett bis blauviolett, Gerüst und Kernkörperchen werden deutlich, während der untere Kern *in statu quo* bleibt, die Färbung der jungen Kerne beibehält und seinen Sitz im Zellfusse findet (Figg. 6, 7, 8). Im oberen Kerne können sich verschiedene Processe abspielen, die zur Becherbildung (Fig. 9) oder zu anderen Veränderungen führen (Fig. 10), der untere bleibt unverändert.[1] Wenn aber die im oberen Kerne stattfindenden Metamorphosen sein Ableben verursacht haben, dann beginnt die Rolle des unteren. Während der obere metamorphosirt wird und zuletzt vollständig schwindet, übernimmt der untere Kern seine Stelle, entwickelt sich weiter bis zur vollständigen Reife, worauf neue Karyokinese oder aber dieselben Veränderungen, die im Bruderkerne sich abgewickelt haben, stattfinden können.[2]

Nach dieser Abweichung gehen wir zur Becherbildungsfrage über.

Betrachten wir die Fig. 13, so fällt uns gleich die verschiedene Färbung der Peripherie und des centralen Theiles des Kernes auf. In der Peripherie erkennen wir das Gerüst eines vollständig entwickelten

---

sehen und auch mitotische Theilung der Cylinderzellkerne in demselben Organe constatirt. (Vergl. seine Abhandlung „Ueber Fettresorption und Darmepithel.“ *Archiv für mikroskopische Anatomie*, 1887, Bd. XXIX, Hft. 1, S. 144.)

[1] Grünhagen (a. a. O., S. 145) sagt: „Die Kerne der Becherzellen liegen regelmässig in einem tieferen Niveau als diejenigen der Saumzellen (Cylinderzellen) und färben sich unter sonst gleichen Verhältnissen tiefer wie diese, sind also chromatinreicher.“ Auf Grund seiner Abbildungen möchte ich noch hinzufügen, dass sie in Form und Lage mit unseren jungen *in statu quo* gebliebenen Kernen vollständig übereinstimmen. Da bei Gebrauch derselben Färbung, die Grünhagen gebraucht hat (Dahliablau), unsere jungen Kerne sich auch ebenso tingirten, wie seine Becherzellkerne, so haben wir volles Recht, beide zu identificiren. Es sei hier noch bemerkt, dass nicht in allen Becherzellen (weder beim Salamander, noch beim Frosch, Triton, Kaninchen, Hund u. s. w.) ein junger Kern im unteren Zellabschnitt zu sehen ist, im Gegentheil besitzt nur eine verhältnissmässig kleine Anzahl der Becherzellen einen solchen; andererseits besitzen, wie ich schon im Texte gesagt habe, auch manche Cylinderzellen einen jungen Fusskern.

[2] Die Regeneration mittels Ersatzzellen ist bei Weitem häufiger als die letztbeschriebene (mittels Fusskern.)

Kernes; den centralen Theil füllt eine orangeroth (mittels Safranin) sich färbende Substanz.

Wir haben schon oben gesehen, dass die mucinösen Massen, die aus vollständig entwickelten Bechern sich ergiessen und auch ihren Inhalt ausmachen, diese Färbung annehmen, und wir können diese Färbung als eine mikrochemische Farbenreaction auf den Dünndarmschleim bezeichnen. Gebraucht man Safranin allein oder combinirt man es mit anderen Farbstoffen, immer unterscheidet sich schon auf den ersten Blick der Becherinhalt von allen anderen mit Safranin sich färbenden Theilen der Praeparate, nicht ein einziges Mal habe ich eine andere Tinction des Becherinhalts bemerken können als die orangerothe,[1] und das Salamander-Material, über welches ich verfügte, war, wenn auch nicht ausserordentlich gross, doch jedenfalls kein geringes.[2] Noch eclatanter erscheint der Tinctionsunterschied, wenn nach vollendeter Färbung das Praeparat kurze Zeit mit Pikrinsäure behandelt wird; dann erhält der Becherinhalt eine orange-bräunliche Färbung und einen charakteristischen Glanz.

Da der Kern in Fig. 13 in seinem centralen Theile die charakteristische Farbenreaction der mucinösen Massen zeigt, in der Peripherie aber nicht, so müssen wir schliessen, dass er theilweise eine mucinöse Metamorphose erlitten hat. Die Fig. 14 zeigt uns einen Kern, der auch in seiner Form nicht alterirt ist, und schon *in toto* die Farbenreaction der Mucin-Metamorphose zeigt. Andererseits sehen wir in Figg. 15, 16, 17, 18 Kerne, die zu Bechern geworden sind, ihren Inhalt zu entleeren begonnen haben und doch sind in ihnen Reste des normalen Gerüstes zu erkennen.

Vergleichen wir die Figg. 2, 3, 15, 16, 17, 18, 19, 20 einerseits und die Fig. 9 andererseits, so fällt uns in letzterer auf, dass das Zellprotoplasma um den metamorphosirten Kern erhalten ist, während es in allen anderen verschwunden ist. Dies ist, wie ich auf Grund meiner Praeparate schliessen muss, ein Ausnahmefall. Für gewöhnlich schwindet das Protoplasma über dem Kerne und zu Seiten desselben vollständig, und man könnte glauben, der mucinös metamorphisirte, schwellende Kern presse das Plasma nach unten in den Fuss; wäre dem so, dann müssten wir im Fusse entweder ein compacteres Plasma finden, oder der Fuss müsste in Dicke wachsen. Keines von Beiden ist aber zu sehen. Viel wahrscheinlicher finde ich die Annahme, dass das Protoplasma vom schwellenden Kerne auf die eine oder andere Weise aufgenommen wird.

---

[1] Die Grundsubstanz der Knorpel färbt sich mit Safranin ebenso, wie meine mucinösen Massen in den Bechern; die Verwandtschaft zwischen Mucin und Chondrin wird also auch durch diese mikrochemische Farbenreaction bestätigt.

[2] Dieselbe Färbung zeigten auch die Darmbecher beim Frosch, Triton, Kaninchen, Hund u. s. w.

Schon die Data bezüglich der Farbenreaction erlauben uns die Becherbildung als eine eigenthümliche Kernmetamorphose aufzufassen. Darauf hin deutet auch die Form der Becher. Das auffallende Aussehen derselben wird ganz klar und verständlich, wenn wir die sog. Bechertheka als Kernmembran betrachten, die eine chemische Verwandlung miterlitten hat. Der mucinös verwandelte Kern schwillt auf, seine Form bleibt aber erhalten und der Becher besitzt die uns immer auffallende Gestalt, weil er eben ein aufgeschwollener, mucinös verwandelter Kern ist.

Im Becher erkennen wir, ebenso wie im normalen Kerne, zweierlei Substanzen: die eine erscheint als ein dichtes Netzwerk verschieden dicker Fäden (Bechergerüst), die andere füllt die Maschen des Netzes (Zwischensubstanz) aus; erstere färbt sich (Safranin) intensiv orangeroth, letztere schwach oder gar nicht. Die Verhältnisse sind hier annähernd dieselben, wie im normalen Kerne; die Bestandtheile des Kernes verändern sich hauptsächlich chemisch, die morphologische Structur bleibt mehr oder weniger dieselbe. Doch bleibt dies nicht bis zu Ende so. Die Portionen, die entleert werden sollen, verlieren ihre Structur, sie werden zu homogener Masse, weil höchst wahrscheinlich das Bechergerüst sich in der Zwischensubstanz löst.[1]

Die Entleerung des Becherinhalts scheint, ähnlich der Kernmetamorphose, nicht auf einmal, sondern stufenweise stattzufinden: was die Structur vollständig verloren hat und dadurch aus dem Verbande befreit ist, kann entleert werden, während der Rest so lange im Becher bleiben muss, bis er auch die Structur verliert und zu einer homogenen Masse wird.

Es bleibt uns noch die Frage zu erörtern, durch welche Kräfte die Entleerung hervorgerufen wird und welchem Schicksale der entleerte Becher verfällt.

Betrachten wir die beigegebenen Abbildungen (Figg. 21, 22, 23, 24), so sehen wir, dass die Bechercontoure, wie schon erwähnt, bis zu Ende vollständig deutlich bleiben, die Kernmembran nicht verschwindet. Nur an einer Stelle ist ihre Integrität aufgehoben, nämlich an der dem Darmlumen zugekehrten Seite. Der mucinös sich metamorphosirende Kern übt, indem sein Volumen durch Schwellung der Schleimmassen wächst, einen Druck auf die angrenzenden Elemente; dieser Druck steigt natürlich mit der Schwellung. Bis zu einem gewissen Grade passen sich diese Elemente dem an (eine Abplattung der Nachbarzellen und Kerne findet dabei immer statt); wird aber dieser Grad überschritten, wird der Gegendruck der

---

[2] Landwehr (Ueber Mucin, Metalbumin und Paralbumin; *Zeitschrift für physiologische Chemie,* 1883—84, Bd. VIII, S. 114) sagt: „Ausser Kohlehydrat (bez. Gallensäuren) und Eiweiss findet sich in den Mucingerinnseln immer noch ein dritter Bestandtheil in mehr oder weniger grosser Menge, nämlich Nucleïn.“

Nachbarelemente unüberwindlich, dann kann die Volumenvergrösserung des schwellenden Kernes nicht mehr nach allen Richtungen hin stattfinden, sie kann nur dort fortdauern, wo kein Gegendruck sich dem entgegenstellt. Eine solche ist in der dem Darmlumen zugekehrten, freien Seite des Kernes gegeben. Dort concentrirt sich die Volumenvergrösserung, aber nur so lange als die Kernmembran den Druck der schwellenden Schleimmassen aushalten kann. Wird diese Grenze überschritten, so wird die Membran durchbrochen und der Schleim hat die Möglichkeit, sich aus dem Kerne resp. Becher zu ergiessen; momentan wird dabei der Druck auf die angrenzenden Elemente vermindert, dieselben streben zu ihrem früheren Zustande zurückzukehren, wobei und wodurch der Schleim nach und nach aus dem Becher herausgepresst wird. Dieser durchläuft consecutiv die in Figg. 21, 22, 23, 24 abgebildeten Phasen (die Nachbarzellen und Kerne zeigen dabei in der That mehr und mehr normale Form).

Jetzt kann zweierlei eintreten: besitzt der Becher im Fusse einen zweiten, *in statu quo* nach der Karyokinese des Mutterkernes gebliebenen jungen Kern, so kann durch Weiterentwickelung dieses Kernes und Wachsthum des Fussprotoplasma's die Zelle wieder zur normalen Cylinderzelle werden; ist kein zweiter Kern vorhanden, so muss die Becherzelle resp. ihr Rest zu Grunde gehen und eine neue Zelle die abgestorbene ersetzen.

Aus Allem, was eben dargestellt, lässt sich Folgendes schliessen.

Die Becherzellen des Salamander-Dünndarms sind weder ausschliesslich schleimig degenerirte Epithelzellen, noch ausschliesslich in einzellige Schleimdrüsen verwandelte Zellen. Sie sind zum Theil das eine, zum Theil das andere, denn, ist kein zweiter Kern in der Zelle vorhanden, so degenerirt die Zelle vollständig, ist ein solcher vorhanden, so fungirt die Zelle wie eine Drüse; nach der Secretion kann sie dank der Anwesenheit eines zweiten Kernes regeneriren und wieder zum secernirenden Becher werden. — Bei der Becherbildung metamorphosirt sich schleimig der Kern der Zelle; die Theca (Bechermembran) ist mit der Kernmembran identisch, der Becherfuss ist auch nie in der Theca mit eingeschlossen; er bleibt bis zu Ende protoplasmatisch, mit den Cylinderzellfüssen identisch.

Jede Cylinderzelle des Darmes kann sich in eine Becherzelle verwandeln; die Ursachen und Bedingungen der Becherbildung sind noch nicht genügend klargestellt. Nur so viel kann man sagen, dass sie mit den physiologischen Processen im Darm in Verbindung steht: je energischer diese vor sich gehen, desto grösser die Zahl der Becher. — Da es hier nicht am Platze wäre, in pathologische Fragen näher einzugehen, werde ich mir nur die Bemerkung erlauben, dass auch bei gewissen pathologischen Processen im Darme, z. B. Darmkatarrh, die Zahl der Becher bedeutend

zunimmt.[1] Eine Untersuchung, die darauf gerichtet wäre, die Ursachen und Bedingungen der Becherbildung klarzustellen, wäre also auch für die Pathologie von grosser Wichtigkeit. Doch muss — bevor man zu dieser Untersuchung schreiten kann — die Morphologie des betreffenden Processes vollständig klargestellt werden. Einen Beitrag dazu liefert diese Arbeit.

Erklärung der Abbildungen.

(Taf. VI—VIII.)

Taf. VI.

Fig. 1. Normale Cylinderzelle mit vollständig entwickeltem, erwachsenem Kerne.

Fig. 2. Vollständig entwickelte Becherzelle im Anfangsstadium der Entleerung. a = Stoma. b = herausgetretene Schleimmassen (dieselben Bezeichnungen gelten für alle Becherabbildungen).

Fig. 3. Becherzelle in einem weiteren Entleerungsstadium. Im Fusse junger Kern *in statu quo* nach der Karyokinese des Mutterkernes geblieben.

Fig. 4. Rechts Cylinderzelle mit jungem Kern, links — mit erwachsenem Kerne. Zwischen den Zellfüssen Ersatz- und Keilzellen.

Fig. 5. Cylinderzelle mit mitotischem Kerne.

Fig. 6. Zweikernige Cylinderzelle: unterer Kern *in statu quo* nach der Mutterkernkinese geblieben, oberer etwas weiter entwickelt, doch noch jung.

Fig. 7. Dasselbe, nur der obere Kern in einem weiteren Entwickelungsstadium.

Taf. VII.

Fig. 8. Dasselbe, nur der obere Kern fast vollständig erwachsen.

Fig. 9. Becherzelle mit jungem Kern im Fusse.

Fig. 10. Zweikernige Cylinderzelle, der obere erwachsene Kern theilweise metamorphosirt (sein oberer Theil hat sich in eine hyaline Sphaere verwandelt), der untere jung.

Fig. 11. Cylinderzelle mit jungem Kerne.

Fig. 12. Dasselbe, nur mit etwas älterem Kerne.

Fig. 13. Cylinderzelle, deren Kern im Centrum sich mucinös verwandelt hat, an der Peripherie noch unverändert geblieben ist.

Fig. 14. Cylinderzelle mit mucinös verwandeltem Kerne.

Fig. 15. Becherzelle in ziemlich weitem Entleerungsstadium; Reste des Gerüstes in dem zum Becher gewordenen Kerne sichtbar.

Fig. 16. Becherzelle im Beginn der Entleerung. Kerngerüstreste sichtbar, im Fusse junger Kern.

Taf. VIII.

Figg. 17 und 18. Becherzellen, wie Fig. 16, doch ohne Fusskern.

Figg. 19 und 20. Becherzellen in weiteren Entleerungsstadien, Kerngerüst vollständig metamorphosirt.

Figg. 21, 22, 23 und 24. Becherzellen in noch weiteren (consecutiven) Entleerungsstadien. In Fig. 21 Fusskern.

---

[1] In diesem Sinne sprechen die Beobachtungen von Stricker und Kochlakoff, Ebstein, Knauff, M. Reich und Anderen. Vergl. hierzu v. Recklinghausen, *Handbuch der allgemeinen Pathologie des Kreislaufs und der Ernährung*, 1883, S. 420.

Ueber die Ursache der scheinbaren Abhängigkeit des Umsatzes von der Grösse der Körperoberfläche.[1]

Von

Dr. H. v. Hoesslin.

Vergleicht man die Wärmemengen, welche verschieden grosse Thiere unter gleichen Aussenbedingungen in ihrem Körper bilden, mit der dritten Wurzel aus dem Quadrat ihres Körpergewichtes, so findet man, dass der betreffende Quotient bei allen Säugethieren eine annähernd constante Zahl bildet, dass also ist $W = aK^{2/3}$.

Um dafür ein Beispiel zu geben, wähle ich die kleine Tabelle, die Voit in seinem Lehrbuch S. 137 giebt. Voit sagt, er habe für grosse und kleine Fleischfresser die geringste Quantität von Fleisch und Fett gesucht, mit welcher sie sich eben während langer Zeit auf ihrem Bestande erhielten. Berechnet man die Nahrungsmengen in Calorien und fügt, um grössere Gewichtsdifferenzen zu erhalten, für den Menschen die Zahlen aus den Respirationsversuchen Pettenkofer's und Voit's hinzu, so ergeben sich folgende Grössen für a:

	Körpergewicht in Kilo	Calorien des Umsatzes[2]	Constante a
Mensch	71·0	2680	156
Hund	42·4	1020	164
„	39·0	1750	150
„	27·6	1590	175
„	4·32	350	131
Katze	2·75	267	136
Ratte (graue)	0·263	77	187

---

[1] Siehe *Berichte der Münchner morphologischen Gesellschaft.* 1887. 5. Juli.

[2] Der Berechnung wurden die von Stohmann und Rubner gefundenen Zahlen zu Grunde gelegt.

Bei Hunger wird a etwas kleiner, bei überschüssiger Nahrungszufuhr etwas grösser, aber soweit man bis jetzt erkennen kann, bei allen Thieren im gleichen Procentverhältniss. Ebenso würde man wohl die gleiche Constanz in der Grösse a finden, wenn man die Thiere bei maximaler Arbeitsleistung oder bei irgend einem gleichen Grad von Arbeit vergleichen könnte. Obige Zahlen sind übrigens nur Annäherungszahlen, speciell darauf gerichtete Untersuchungen ergeben für die Grösse a bedeutend gleichmässigere Werthe, wie ich am Schlusse der Arbeit bei Besprechung der Ursache des Schwankens der Grösse a zeigen werde.

Es fragt sich nun, was ist die Ursache der besprochenen Erscheinung.

a) Als Ursache gilt bis jetzt allgemein und schon seit ziemlich langer Zeit die verschiedene Wärmeabgabe an der Oberfläche.[1]

Es lag schon in der von Lavoisier aufgestellten, später von Lagrange modificirten Theorie: dass der Körper von der Lunge resp. vom Blute aus erwärmt werde, die weitere Annahme als eine eigentlich nothwendige Folgerung inbegriffen, dass die in der Zeiteinheit verbrauchte Wärmemenge im Grossen und Ganzen proportional der Grösse der Oberfläche des erwärmten Körpers gehen müsse; um so mehr als Lavoisier auch schon gezeigt hatte, dass bei warmblütigen Thieren in der That die Wärmebildung in der Kälte zunimmt. Doch fand ich weder bei La-

[1] Meeh hat in der *Zeitschrift für Biologie*, Bd. XV. zuerst auf die Constanz des Verhältnisses: Oberfläche $O : K^{2/3} = 12 \cdot 3$ beim menschlichen Körper aufmerksam gemacht, und Rubner (s. w. v.) hat eine gleiche Constanz beim Hunde constatirt und direct mit der Annahme $O = kK^{2/3}$ (k = Constante) gerechnet. Meeh glaubte, diese Constanz nur durch die Annahme erklären zu können, „Dass beim Wachsthum, speciell bei der Flächenentwicklung unserer Haut, Compensationen von so eingreifender Art stattfänden, dass die unähnlichen Leiber sonst normal gebauter Individuen immer annähernd dasselbe Verhältniss zwischen Körperoberfläche und der dritten Wurzel aus dem Quadrat ihres Gewichtes haben." Es ist jedoch zur Erklärung der Constanz der Grösse k durchaus nicht die Hypothese von „Compensationen" erforderlich, die Erklärung liegt ganz wo anders und ist sehr einfach. Das Verhältniss $O : K^{2/3} = k = 12 \cdot 3$ entspricht einem Cylinder, der ca. 39 mal länger als sein Durchmesser ist. Giebt man dem Cylinder bei gleicher Länge doppelte Masse, so wächst O um den Factor $\sqrt{2}$, $K^{2/3}$ um $\sqrt[3]{2^2}$, k also um $2^{-1/6} = 1 : 1 \cdot 12$, d. h. k wird statt $12 \cdot 3$ nun $11 \cdot 1$. Ebenso wenn der Cylinder bei gleicher Länge nur mehr das halbe Gewicht besitzt, wächst k nur um $2^{1/6}$, wird also $13 \cdot 4$. Es ist also durchaus selbstverständlich, dass Meeh, bei dessen Messungen die Schwankungen des Körpergewichtes, auf gleiche Länge bezogen, nicht halb so gross sind, auch keine grösseren Schwankungen in der Grösse des Verhältnisses $O : K^{2/3}$ findet. Der Grund liegt eben darin, dass die sechste Wurzel aus 2 oder $1 \cdot 5$ nur wenig verschieden von 1 ist.

voisier selbst noch bei den Forschern der direct auf ihn folgenden Periode obige Folgerung irgendwie ausgedrückt, obwohl z. B. in den Versuchen von Despretz und Dulong dazu wohl Veranlassung gewesen wäre. Erst mit Anfang der vierziger Jahre wird bei einer Reihe von Forschern obiger Folgerung mehr oder weniger deutlich Ausdruck gegeben. So z. B. mit wenig Worten von Helmholtz in seinem Artikel über Wärme im encyklopädischen Wörterbuch (XXXV).[1]

C. Schmidt[2] sagte, der Umsatz (die Respirationsgrösse) wechsele bei verschiedenen Thieren mit der Oberflächenausdehnung d. h. mit dem Verhältniss: Oberflächeneinheit zu Gewichtseinheit, doch könne ihre Abhängigkeit von diesem Verhältnisse als exacte mathematische Function erst nach zahlreichen experimentellen Versuchen dargestellt werden. Die bei der vollständigen Verbrennung der Nährstoffe zu $CO_2 + H_2O$ entwickelte Wärmemenge sei das wahre Respirationsaequivalent derselben, 100 Albumin seien also z. B. 47·1 Fett aequivalent.

Aehnlich äussert sich Liebig: Die Menge der respiratorischen Nahrungsmittel, die im Thierkörper verbraucht werden, richte sich *ceteris paribus* nach der äusseren Temperatur, resp. nach dem Wärmequantum, das wir nach aussen hin abgeben. Mit dem Wärmeverbrauch durch Abkühlung steige die Menge des eingeathmeten Sauerstoffs.

Da die Verbrennungswärme der Stoffe abhängig ist von der Menge von brennbaren Elementen, die sie in gleichen Gewichten enthalten, und die Menge des zu ihrer Verbrennung nöthigen Sauerstoffs in demselben Verhältniss steigt, so lässt sich aus der zur Verbrennung nöthigen Sauerstoffmenge der Wärmeerzeugungswerth oder Respirationswerth der Stoffe annäherungsweise (!) berechnen.[3]

Da bei verschieden grossen Körpern die Masse proportional dem Cubus, die Oberfläche nur proportional dem Quadrat der Länge wächst, und da ausserdem die Länge der Haare bei kleinen Thieren nicht so gross sein kann als bei grossen, da also auch die Dicke der die Wärme schlecht leitenden Schicht im Allgemeinen bei grossen Thieren viel grösser ist als bei kleinen, so folgerte Bergmann 1847,[4] dass kleinere Thiere grösseren Umsatz pro Kilo haben müssten als grosse, und gab Beispiele hierfür, obwohl er genaue Berechnungen nicht ausführen konnte, da die Verbrennungswärmen der Stoffe noch nicht bekannt waren. Er schloss ferner, dass die Vertheilung der grossen und kleinen Thiere in den verschiedenen Klimaten

[1] Berlin 1846.
[2] Bidder und Schmidt, *Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel.*
[3] *Chemische Briefe.* III. Aufl. S. 399, 402, 492.
[4] *Das Verhältniss der Wärmeöconomie der Thiere zu ihrer Grösse.*

und bei verschiedenen Lebensweisen eine ungleiche sein müsse, wie es ja auch thatsächlich der Fall ist.

Regnault und Reiset[1] erklären den grösseren O-Verbrauch kleiner Thiere ebenfalls durch den grösseren Wärmeverlust, der durch die relativ grössere Oberfläche der kleinen Thiere bedingt wird.

Gavarret[2] sagte, die Wärmebildung hänge ab vom Verhältnisse der Oberfläche zum Körpergewicht, aber da ein Theil des Körpergewichtes aus todten Stoffen bestehe (Haare, Federn) und die Haare u. s. w. an der Oberfläche verschiedener Thierspecies verschieden dicht ständen, so lasse sich ein constantes Verhältniss der Wärmebildung für ein bestimmtes Verhältniss von Oberfläche zu Körpergewicht nicht angeben.

Rameaux[3] nahm an, dass bei ein und derselben Species die Wärmebildung (der Umsatz) genau proportional der Grösse der Oberfläche gehen müsse, genau proportional $K^{2/3}$. Er führte die von Anderen bei mehr als 2000 Menschen verschiedener Körpergrösse bestimmten Werthe der pro Minute geathmeten Luftmenge als directe Beweise seiner Theorie an, resp. zeigte die in der That vollkommene Uebereinstimmung dieser Versuche mit seiner Theorie.

Als Vierordt in seiner Arbeit über die Gesetze der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes gefunden hatte, dass kleine Thiere eine vielmal raschere Circulation besitzen als grosse, wies Meissner[4] auf die Uebereinstimmung dieser Thatsache mit der von Bergmann entwickelten Oberflächentheorie hin, erklärte also letztere als die Ursache der ersteren Erscheinung.

Vierordt[5] fand bei Kindern die Wärmebildung pro Kilo ebenfalls mit der Grösse der relativen Oberfläche steigend, jedoch in einem etwas rascherem Verhältnisse als letztere.

Immermann stellte, offenbar ohne Rameaux' Arbeit zu kennen, von Neuem die Formel $W = a K^{2/3}$ auf.

Liebermeister[6] und Immermann benützten diese Formel zum Vergleich der Wärmeabgabe bei verschieden grossen Menschen, wobei Liebermeister zugab, dass bei wirklich mathematischer Aehnlichkeit im Bau verschieden grosser Thiere die Formel eigentlich $W = a K^{1/3}$ oder

---

[1] *Annales de Chimie et de Physique* (3) t. XXVI. S. 473 u. 514.

[2] *Physique médicale.* Paris 1855.

[3] *Mémoires de l'Académie Belge.* 1857. Seiner Angabe nach hat er schon 1838 diese Theorie der belgischen Akademie vorgelegt.

[4] *Berichte über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie.* 1857. S. 485.

[5] *Physiologie des Kindesalters.*

[6] *Handbuch der Pathologie des Fiebers.* S. 177

$= aK^{1/3} + bK^{2/3}$ lauten müsste, da mit der Grösse der Oberfläche dann auch die Länge der Haare u. s. w. wachsen müsse.

In neuester Zeit hat dann Rubner[1] erstens genauere Nachweise dafür gegeben, dass der Umsatz bei Thieren derselben Species (Hunden) bei Hunger und Körperruhe in der That annähernd proportional der Oberflächenausdehnung gehe, zweitens eine eingehende Theorie betreffs dieser Erscheinung aufgestellt, die dahin lautet, dass durch die Einheit Oberfläche (die er wie Rameaux bei Thieren derselben Species als vollkommen gleichwerthig in Bezug auf Wärmeleitung und Strahlung voraussetzt) bei gegebener Differenz zwischen Innen- und Aussentemperatur in der Zeiteinheit ein gewisses immer gleiches Maass von Wärme unabweisbar nothwendig verloren gehe. Das Thier müsse also, wenn es am Leben bleiben soll, diese in der Zeiteinheit abgegebene Wärmemenge in der Zeiteinheit auch wieder ersetzen; dieser physikalisch nothwendige Wärmeverlust bedinge so die Höhe des „minimalsten Stoffwechsels“. Bei Hunger und Körperruhe stelle sich der Körper auf diesen Stoffwechsel ein, d. h. er bilde alsdann lediglich soviel Wärme, als er physikalisch nothwendig an der Oberfläche verliere.

Bei Hunger und Ruhe hinge danach die Höhe des Stoffwechsels (der Umsatz) lediglich von der Grösse der Oberfläche des Thieres ab, während Ernährungszustand, Alter, Geschlecht u. s. w. an sich ohne allen Einfluss wären, solange die Beschaffenheit der Oberfläche die gleiche bleibt.

Auch Richet[2] bezieht die verschiedene Wärmebildung verschieden grosser Thiere lediglich auf die physikalisch nothwendig verschiedene Wärmeabgabe an der Oberfläche. Nach ihm hängt die Wärmebildung ab (S. 286): 1. von der Grösse der Oberfläche, 2. von der äusseren Temperatur (ohne jedoch proportional der Differenz der Innen- und Aussentemperatur zu gehen), 3. von der Beschaffenheit der Oberfläche (Dichte der Behaarung, Farbe u. s. w.).

Dass Schwankungen der Aussentemperatur Veränderungen im Umsatze der warmblütigen Thiere (um die es sich hier allein handelt) nach sich ziehen, ist längst durch Versuche festgestellt, diese Versuche haben jedoch zu gleicher Zeit bewiesen, dass die Aenderungen in der Wärmebildung durchaus nicht proportional sind den Aenderungen der äusseren Wärmeabgabeverhältnisse (z. B. proportional der Differenz zwischen Aussen- und Innentemperatur), dass der thierische Körper also durchaus nicht den einfachen physikalischen Gesetzen der Wärmeabgabe folgt, wie es ein

---

[1] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XIX. S. 535 u. 326.

[2] Recherches de Calorimétrie. *Archives de Physiologie.* 1885. 2. Sem. p. 237 u. 450.

Thermoregulator thut.[1] Schon daraus allein ergiebt sich die Unrichtigkeit der von Rubner aufgestellten Theorie.

Wenn zwischen zwei Grössen ein causales Verhältniss festgestellt ist, so folgt daraus noch gar nicht, dass die eine von beiden, z. B. die Aus-

---

[1] So fand z. B. Herzog Carl Theodor in Bayern (*Zeitschrift für Biologie.* Bd. XIV) bei der Katze:

Aeussere Temperatur	Differenz mit der Körpertemperatur	Relativ	CO_2 pro 6 Stunden	Relativ
+ 30·8	7·2	1	12·03	1
20·1	17·9	2·5	14·34	1·2
12·3	25·7	3·6	17·76	1·5
0·2	37·8	5·25	18·24	1·5
— 5·5	43·5	6·0	19·83	1·6
Letellier (*Annales de Chim. et de Phys.* (3) 1845. t. XIII) beim Zeisig:				
			pro Stunde	
39—41	1	1	0·129	1
22	18	18	0·250	1·9
0	40	40	0·325	2·5
Ammer:				
35—39 (Mittel 39·9)	1	1	0·228	1
19—22	20	20	0·322	1·4
0	40	40	0·421	1·8
Meerschweinchen:				
30—32	6	1	1·453	1
16—19	20	3·3	2·058	1·4
0	37	6·1	3·006	2·1
Voit (*Zeitschrift für Biologie.* Bd. XIV) beim Menschen:				
			pro 6 Stunden	
30	7·5	1	170·6	1
24	13·5	1·9	165·6	0·97
15·2	21·3	3·0	156·7	0·92
9	28·5	3·8	192·0	1·13
4·4	33·1	4·4	210·7	1·23
Lehmann (*Abhandlungen bei Begründung der königl. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften.* 1846) beim Zeisig:				
			pro Stunde	
37	3 (2)	1	0·036	1
17	22 (21)	7 (11)	0·060	1·7
1	39 (38)	12 (19)	0·081	2·3
Feldtaube:				
37	3 (2)	1	0·0775	1
22	18 (17)	6 (9)	0·105	1·4
1	39 (38)	12 (19)	0·181	2·3

dehnung der Oberfläche die Ursache der anderen, der Wärmebildung sein müsse, es können sehr wohl auch beide von einer dritten Ursache abhängen. Letzterer Auffassung sind z. B. Vierordt und C. Schmidt in der uns beschäftigenden Frage gewesen.

Ich habe früher auch an eine gewisse directe Abhängigkeit des Umsatzes von der Oberflächenausdehnung geglaubt und habe dieser Auffassung auch in früheren Arbeiten Ausdruck gegeben, bin aber gerade durch die extreme Ausbildung der Oberflächentheorie durch die Rubner'sche Arbeit veranlasst worden, mich mit der möglichen Ursache der Constanz der Grösse a eingehender zu beschäftigen, da ich in einer früheren Arbeit eine der besprochenen Theorie gerade entgegengesetzte Ansicht ausgeführt hatte, nämlich die, dass der Ernährungszustand des Körpers resp. der Zellen (bedingt durch Nahrungszufuhr, Alter, Geschlecht, Uebung u. s. w.) ein bestimmtes Maass von Spannkraftverbrauch innerhalb der Zellen bedinge, das durch von aussen zugeleitete Wärme nicht ersetzt werden könne.

---

b) Ich werde nun zunächst einige weitere Beweise dafür anführen, dass der Umsatz relativ unabhängig ist von äusseren Temperaturverhältnissen und dann auf die Besprechung der möglichen Ursachen der Constanz jenes Verhältnisses eingehen. Ich muss hierbei vorgreifend die Ergebnisse eines Versuches mittheilen, den ich demnächst ausführlicher veröffentlichen werde. Ich habe im Sommer 1884 zwei männliche Hunde gleichen Wurfes, reiner Rasse (schwarze Spitze), einige Wochen bei gleicher und dann bei verschiedener Temperatur mit vollkommen gleicher Nahrung (500 Cal.) aufgezogen. Die Temperatur im Stalle des Hundes a war im Mittel 5° C., die im Stalle des Hundes b im Mittel 31·5—32·0° C.[1] Vor dem Eintritt in den Stall strich die Luft bei Hund a über Eis, war also fast trocken, während sie bei b über Wasser von ca. 28° C. strich; wenn

---

Rubner (*Biologische Gesetze*, Marburg 1887, S. 10) bei Hund III, bei Hunger:

Aeussere Temperatur	Differenz mit der Körpertemperatur	Relativ	Cal. pro Tag und Kilo	Relativ
27·4	12·6 (11·6?)	1	30·82	1
19·5	20·5 (19·5)	1·6	35·10	1·1
13·4	26·6 (25·6)	2·1 (2·2)	39·65	1·3

Finkler (Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XV) fand bei Meerschweinchen bei einem Steigen der Differenz von 12 auf 34 (= ca. 100 : 300) nur ein Steigen des O-Verbrauches um 66 Procent.

[1] Durch einen genau arbeitenden Soxhlet'schen Regulator constant erhalten.

der Hund *b* im Käfige war, war die Luft so mit Wasserdampf gesättigt, dass die Wände des Käfigs stets mit Wasserbläschen beschlagen waren, obwohl die Wände bedeutend wärmer waren als die eingeführte Luft (ca. 32—32·5° C.). Hinge die Wärmebildung vom Wärmeverlust und letzterer *ceteris paribus* lediglich von der Grösse der Oberfläche, von der Temperaturdifferenz und dem Wassergehalte der Luft ab, so hätte Hund *a* um mindestens 400—500 Procent mehr Wärme bilden müssen als *b*. Nach Verlauf von drei Monaten war die Muskel- und Organmasse bei beiden Hunden wenig verschieden (bei Hund *a* um etwa 10 Procent grösser), Hund *b* hatte aber um 520 ^{grm} Fett mehr angesetzt als *a*, er hatte im Ganzen 950 ^{grm} Fett, *a* nur 430 ^{grm}. Da der Versuch 88 Tage dauerte, so hatte *a* also pro Tag im Durchschnitt 6 ^{grm} Fett mehr verbraucht als *b*, was einer Steigerung der Wärmebildung von 12 Procent entspricht statt der verlangten 400—500 Procent. Selbst die doppelte und dreifache Differenz des Fettansatzes, ja selbst die zehn- und zwanzigfache würden noch lange nicht dem geforderten Verhältniss in der Wärmebildung entsprechen.

Die Wärmebildung änderte sich also kaum, dagegen trat etwa 3—4 Wochen nach Beginn des eigentlichen Versuches ein vollkommener Haarwechsel bei beiden Hunden auf, der in der siebenten Woche ziemlich abgeschlossen war. Dieser Haarwechsel fehlte bei einem dritten Hunde *c* gleichen Wurfes, der unter den gleichen Bedingungen wie *a* und *b*, aber bei einer Temperatur von 24·5° C. aufgezogen wurde. Hund *a* bekam in Folge des Haarwechsels ein ungeheuer feines, wolliges, dichtstehendes Haar mit spärlich eingestreuten grösseren Haaren; während *b* nur grössere, lange, relativ dicke, aber spärliche Haare ohne alle Wollhaare bekam. Beim Tode wogen die Haare von *b* 36 ^{grm}, die von *a* 129 ^{grm}. Trotzdem *a* in sehr trockner Luft sich befand, soff er nie Wasser, während *b*, obwohl in mit Wasser fast gesättigter Luft lebend, täglich ziemlich viel Wasser zu sich nahm.

Es scheint mir dieser Versuch unwiderleglich zu beweisen, dass die Wärmebildung nicht vom Wärmeverlust abhängt, sondern umgekehrt der Wärmeverlust von der Wärmebildung, und dass Veränderungen in den äusseren Wärmeabgabeverhältnissen eben durch Veränderungen der im Thierkörper selbst befindlichen Verhältnisse, welche die Wärmeabgabe beeinflussen, der Hauptsache nach ausgeglichen werden.[1] Ich möchte da noch erinnern an die Versuche, die Rich. Geigel im Bd. II des *Arch. f. Hygiene* veröffentlicht hat. Derselbe maass die Wärme, die sein entblösster Arm innerhalb einer gewissen Zeit an die umgebende Luft abgab; brachte

[1] Beim Menschen durch willkürliche Aenderung der Kleidung, sowie durch verschiedene Weite der Hautcapillaren, siehe im Folgenden.

er den Arm dann in kältere Luft, so war anfangs die Wärmeabgabe natürlich erhöht, dieselbe sank jedoch fortwährend, bis nach einiger Zeit dasselbe Maass pro Zeiteinheit erreicht war wie vorher. Das entsprechend Gleiche traf ein, wenn der Arm zuerst in kalter und darnach in warmer Luft sich befand. Es war also die Wärmeabgabe sowohl in kalter wie in warmer Luft nach einiger Zeit constant nahezu die gleiche, nur war in warmer Luft die äussere Haut geröthet, während sie in kalter vollkommen blass war und zugleich das unangenehme subjective Gefühl der Kälte bestand. Es beweist dieser Versuch also in Bezug auf den Einfluss kurz dauernder Temperaturunterschiede das Gleiche, was ich oben bei den von mir ausgeführten Versuchen in Bezug auf den Einfluss länger dauernder Temperaturunterschiede behauptete.

Man kann also die äusseren Wärmeabgabebedingungen ändern, ohne dass die Höhe der Wärmebildung eine entsprechende Aenderung erfährt. Man kann aber auch umgekehrt die äusseren Wärmebedingungen die gleichen bleiben lassen und doch die Wärmebildung (bei Hunger oder eben zureichender Ernährung und Körperruhe) sich ändern lassen; so z. B. durch Aenderung des Ernährungszustandes oder durch muskellähmende Einflüsse. Der von Pettenkofer und Voit zu ihren Respirationsversuchen benutzte Hund verbrauchte bei einer eben zur Erhaltung des Körpergewichtes zureichenden Ernährung 1600 Cal., am sechsten Hungertage verbrauchte er nur mehr 1190, am zehnten nur mehr 940; sein Körpergewicht hatte dabei nur von 33 ^{kgrm} auf 30 ^{kgrm} abgenommen, also war die Oberfläche im Verhältniss von $\sqrt[3]{33} : \sqrt[3]{30}$ kleiner geworden und die Haare standen im Verhältniss $\sqrt[3]{30} : \sqrt[3]{33}$ dichter, dies würde eine Abnahme der Wärmebildung um 9 Procent ($\sqrt[3]{33^2} : \sqrt[3]{30^2}$) erklären, während sie thatsächlich um mehr als 40 Procent abnahm. In der Arbeit Rubner's über die Beziehung der Oberfläche zur Wärmebildung (a. a. O.) findet man das gleiche Absinken des Umsatzes bei Hunger in allen Versuchen, so z. B. beim Hund VI erster Hungertag: 445 Cal., Gewicht 6·8 ^{kgrm}; fünfter Hungertag: 357 Cal., 6·1 ^{kgrm}; später erster und zweiter Hungertag: 500 Cal., 6·8 ^{kgrm}; später achter Hungertag: 324 Cal., Gewicht 5·9 ^{kgrm}. Im Band XIX, S. 325 (a. a. O.) führt Rubner eine Tabelle an, die beweisen soll, „dass sich der Stoffwechsel bei Hunger fast gar nicht ändert". Es ändert sich jedoch hier der Umsatz absolut um 33 Procent, relativ zum Körpergewicht um 20 Procent, relativ zur Oberfläche um 25 Procent, man wird nicht sagen können, dass dies kleine Aenderungen sind.

Niemand zweifelt, dass die Thiere im Winter dichteren Pelz besitzen als im Sommer, sie müssten also in einem Raume von gleicher Temperatur im Winter weniger Wärme abgeben als im Sommer, während das directe Gegentheil, d. h. ein Mehrverbrauch an O im Winter bei gleicher äusserer,

mässig warmer Temperatur, constatirt ist von Finkler[1] bei Meerschweinchen und von Milne Edwards[2] schon viel früher an kleinen Vögeln (Ammern). Ebenso producirte die Katze von Herzog Carl Theodor (a. a. O.) im Winter bei gleicher Temperatur mehr CO_2 als im Frühjahr und Sommer und zwar obgleich ihr Gewicht im Winter bedeutend kleiner war als im Sommer.

Nummer	Datum	Temperatur	Körpergewicht	CO_2 in 6 Stdn. grm
16	27/III	19·8	2620	15·9
17	8/VI	20·1	3000	14·3
13	11/III	15·6	2600	17·4
14	7/V	16·3	2850	15·7

Dass in Folge tiefen Schlafes[3] oder unter dem Einfluss directer Muskellähmung oder starker Blutentziehung der Umsatz noch tiefer sinkt als bei einfacher Körperruhe (bis 40 Procent), ist durch viele Versuche, besonders aus dem Voit'schen[4] und Pflüger'schen[5] Laboratorium zweifellos bewiesen. Es ist daher der Umsatz bei blosser Körperruhe durchaus kein Minimum, ebenso wenig, wie der Umsatz am ersten Hungertage; es giebt eben einfach keinen „minimalsten Stoffwechsel" im Sinne einer bestimmten Grösse.

Würde die Theorie richtig sein, dass die grössere Wärmebildung bei kleineren Thieren lediglich von der grösseren Oberfläche abzuleiten sei, resp. von der dadurch bedingten grösseren Wärmeabgabe, so dürfte Arbeitsleistung oder vermehrte Nahrungszufuhr bei kleinen Thieren keine Steigerung des Umsatzes mit sich bringen, aus dem gleichen Grunde, weshalb ein Kasten mit Thermoregulator nicht wärmer wird, wenn ich zur ersten Flamme eine zweite nicht in den Regulator eingeschaltete bringe, vorausgesetzt nur, dass die zweite nicht grösser als die erste ist. Das Letztere

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XV.

[2] *Influence des agents physiques sur la vie.*

[3] Rubner bestreitet zwar auf Grund seiner jüngsten Arbeit (*Beiträge zur Physiologie u. s. w.* Leipzig 1887), worin er die von meinem verstorbenen Freunde Feder intendirten Versuche (s. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XVII. S. 576) zur Ausführung bringt, den Einfluss des Schlafes für sich allein, es fehlt aber jeder Nachweis, dass sein Hund während der Nacht auch wirklich mehr geschlafen habe als am Tage. Auch ist die Steigerung von 24 Procent beim Menschen am Tage gegenüber der Nacht viel zu gross, um allein durch die kleinen Bewegungen im Pettenkofer'schen Respirationsapparat während des Tages erklärt werden zu können.

[4] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. II u. XIV.

[5] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XVIII. Bei Curarevergiftung oder Durchschneidung des Rückenmarkes sinkt der O-Verbrauch trotz gleichbleibender oder selbst etwas erhöhter Körpertemperatur um 35—37 Procent.

wäre jedoch bei kleinen und selbst bei grösseren Thieren erst bei sehr starken Arbeitsleistungen zu erwarten: denn eine Ratte hat einen pro Kilo circa fünfmal stärkeren Stoffwechsel als ein grosser Hund, circa siebenmal stärker als ein Mensch, circa dreizehnmal stärker als ein Pferd, und wie *per analogiam* anzunehmen, circa 25—30mal stärkeren als ein Elephant. Nun steigert aber schon eine Nahrungszufuhr, die gerade nur den Verbrauch ersetzt, schon um einige Procente die Wärmebildung, wie ich schon früher ausführte;[1] es ist dies doch ein directer Widerspruch gegen die besprochene Theorie. Ebenso müssten nach dieser Theorie die Temperaturen, bei welchen sich verschieden grosse Thiere gerade wohl befinden, d. h. bei welchen nach Rubner die physikalische Regulation gerade beginnt, enorm verschieden sein. Wenn sich eine Maus bei + 30° C. wohlbefindet, wäre die entsprechende Temperatur für das Pferd — 200° C.!

Eine schlagende Widerlegung seiner Theorie hat übrigens Rubner selbst geliefert[2] durch den Ausspruch, dass bei überschüssiger (um 55 Procent!) Nahrungszufuhr äussere Kälteeinflüsse ohne nachweissbaren Einfluss auf die Höhe des Umsatzes sind.[3] Es fällt also hier der Einfluss der Oberfläche weg. Da aber auch bei überschüssiger Nahrungszufuhr der Calorienverbrauch proportional $K^{2/3}$ bleibt, so kann die Ursache für letztere Erscheinung nicht in der Oberflächenausdehnung resp. in der entsprechenden Wärmeabgabe daselbst liegen.

Ich könnte gegen die Theorie, dass das Maass des Wärmeverlustes das direct bestimmende Moment für das Maass der Wärmebildung (bei Körperruhe und eben zureichender Ernährung oder Hunger) abgebe, noch eine Reihe anderer Gründe anführen, ich glaube aber, es genügen die bereits angeführten, um zu beweisen, dass man mit dieser Theorie auf eine Reihe von Widersprüchen bei der Erklärung der Erscheinungen stösst.

---

c) Man muss also nach anderweitigen Einflüssen suchen, welche bewirken, dass der Umsatz *ceteris paribus* proportional $K^{2/3}$ geht. Nun ist $K^{2/3}$

---

[1] Virchow's *Archiv.* Bd. LXXXIX. S. 333.

[2] *Sitzungsber. d. math.-phys. Cl. d. königl. Akad. d. Wissensch. z. München.* 1885.

[3] Es kann dies übrigens nur bis zu einem gewissen Grade möglich sein, es ist bei stärkerem Absinken der Aussentemperatur nicht denkbar. Die Thatsache, dass bei Hunger schon geringere Kältegrade eine vermehrte Wärmebildung bedingen als bei Nahrungszufuhr, erklärt sich dadurch, dass bei Hunger die Wärmebildung thatsächlich etwas geringer ist, als bei Nahrungszufuhr, dass also bei Hunger die Hautcapillaren bereits auf einen gewissen Grad contrahirt sind, also bei etwas stärkeren Kälteeinflüssen sich nicht mehr in dem gleichen Grade contrahiren, wie bei Nahrungszufuhr. Es hat ferner vom Rubner'schen Standpunkte aus keinen rechten Sinn, die Wärmebildung bei Hunger $= w + 3, (t' - t^0)$ zu setzen, einen Sinn hätte nur ein Steigen der Wärmebildung prop. (39^0 C. $- t'$); aber damit stimmen die Resultate nicht.

gleich Körperquerschnitt und proportional dem Körperquerschnitt geht *cet. par.* auch die durch denselben in der Zeiteinheit strömende Sauerstoffmenge (Oxyhaemoglobin). Ich habe schon früher nachzuweisen gesucht, dass bei grossen und kleinen Thieren der Sauerstoffverbrauch proportional geht der durch den Körper circulirenden Sauerstoffmenge.[1] Selbst wenn dieses Verhältniss bei grossen und kleinen Thieren nicht ganz constant sein sollte (wie es sogar nicht ganz unwahrscheinlich ist), kann es doch unmöglich in einem für unsere Frage irgend in Betracht kommenden Grade schwanken. Da nun der Sauerstoffverbrauch *cet. par.* (bei gleichem Ernährungszustand, Alter u. s. w.) proportional $K^{2/3}$ geht, muss auch die durch den Körper strömende Sauerstoffmenge proportional $K^{2/3}$ gehen. Man kann den gleichen Schluss auch aus Folgendem ableiten: Volkmann[2] fand die Schwankungen in der Blutgeschwindigkeit bei grossen und kleinen Thieren nicht grösser als bei Thieren derselben Species, beim 5 ^{kgrm} schweren Hunde die gleiche Geschwindigkeit wie beim ausgewachsenen Pferde;[3] da nun die Querschnitte der grossen Gefässe sich annähernd verhalten wie die Querschnitte des ganzen Körpers, so müssen die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt circulirenden Blutmengen sich ebenfalls annähernd verhalten wie die Körperquerschnitte.

Diejenigen, die annehmen, das Natürlichste wäre, der Umsatz verhielte sich wie die Körpergewichte der verschiedenen Thiere und nicht wie die Querschnitte, müssen die Voraussetzung machen, es lasse sich im Körper leicht eine Einrichtung denken, welche bewirke, dass in der Zeiteinheit durch den physiologischen Querschnitt des Körpers eine Blutmenge ströme, die nicht proportional der Grösse des Querschnittes, sondern proportional der des Körpergewichtes selbst wäre. Es liesse sich dies jedoch überhaupt nur unter ganz gewaltigen morphologischen Aenderungen und vollkommenem Verzicht auf die Aehnlichkeit im Bau verschieden grosser Thiere erreichen, bei grossen Gewichtsunterschieden aber ist es gänzlich unmöglich. Es ent-

[1] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XVIII. S. 631.

[2] *Haemodynamik.* S. 195 u. 208.

[3] Nach Vierordt: *Die Gesetze der Stromgeschwindigkeiten u. s. w.* S. 169 sollen kleine Thiere eine etwas grössere Stromgeschwindigkeit haben als grosse. Vierordt hat aber 1) versäumt anzugeben, dass die dort angegebenen Differenzen der Stromgeschwindigkeiten weit übertroffen werden durch die Grösse der Fehlergrenzen, 2) aus Versehen einen Cruralisversuch zu den Carotisversuchen addirt (Nr. XII. S. 201), 3) unbeachtet gelassen, dass bei den Carotisversuchen der grösseren Thiere ein Versuch vollständig aus der Reihe fällt, indem sein Resultat um 60 Procent von den Einzelresultaten aller übrigen Carotisversuche abweicht (Nr. III). Vergleicht man lediglich die Thiere mit den grössten Gewichtsdifferenzen, wobei am ehesten ein Unterschied zu erwarten ist, so findet man für den 20 ^{kgrm} schweren Hund 322 ^{mm} Carotisgeschwindigkeit, für die 7·5 und 7·7 schweren Hunde im Mittel 308, also ziemlich die gleiche, sicher keine grössere Geschwindigkeit.

wickeln sich nun alle Säugethiere aus einer vollkommen gleichartigen homolog gebauten Anlage, die Artverschiedenheiten treten erst im Verlauf der Entwickelung allmählich auf und trotz aller Artverschiedenheiten besteht im Allgemeinen doch noch ein homologer Bau, speciell auch im Gefässsystem. Dies müsste sich alles ändern, und zwar müssten bei der gleichen Species die grössten morphologischen Aenderungen in der Gefässvertheilung bestehen, je nachdem das betreffende Individuum einer grossen oder kleinen Varietät angehört, grösser oder kleiner wird, ein Verhalten, das allen bekannten Gesetzen über Variabilität widersprechen würde. Soll der jetzige homologe Bau der Gefässvertheilung gewahrt bleiben, so kann die durch den physiologischen Querschnitt des Körpers strömende Blutmenge eben nur proportional dem Körperquerschnitt zunehmen. Jedenfalls sind grössere Abweichungen von diesem Verhältnisse durch einfache Abänderung der Weite der Blutgefässe insofern unmöglich, als sie ihren Zweck (vermehrte Sauerstoffzufuhr zu den Geweben) absolut nicht erreichen würden. Gesetzt, der 64 ^{kgrm} schwere Mensch solle denselben Umsatz haben, wie ein Thier (junge Ratte) von 64 ^{grm}, so müsste durch seine Capillaren zehnmal mehr Blut strömen als jetzt strömt. Nun kann die Weite der Capillaren bei den verschiedenen Säugethieren keinen irgend bedeutenden Schwankungen unterliegen. Die Capillaren sind gerade so weit, dass ein rothes Blutkörperchen dieselben passiren kann, was zur Folge hat, dass das Sauerstoff führende Blutkörperchen knapp an der Wand vorbei muss, dass also die Sauerstoffdiffusion nach aussen möglichst begünstigt wird. Die Blutkörperchen der verschiedenen Säugethiere sind nun nahezu gleich gross, jedenfalls sind die Unterschiede in ihrer Grösse vollkommen unabhängig von der Grösse der Thiere; man kann daraus mit Sicherheit den Schluss ziehen, dass auch der Durchmesser der Capillaren nahezu unabhängig von der Grösse der Thiere ist, wie ja auch thatsächlich kein Unterschied in der Weite injicirter Capillaren bei verschieden grossen Thieren beobachtet ist.

Würden die Capillaren so weit werden, dass im angenommenen Falle bei gleichem Blutdrucke die zehnfache Blutmenge in der Zeiteinheit durch dieselbe circuliren würde, so würde sich 1. ein Axenstrom der rothen Blutkörperchen wie in den kleinen Arterien entwickeln, zwischen Axenstrom und Wand würde sich also noch eine Plasmaschicht einschalten, 2. müsste die Capillarwand bedeutend dicker werden, da die Spannung der Wände proportional dem Durchmesser wächst, es würden also bedeutende Widerstände für die Diffusion des Sauerstoffs eingestellt werden, 3. würde die Zeit, während welcher das Blutkörperchen seinen Sauerstoff abgeben könnte, nur mehr $^1/_{10}$ der jetzigen Zeit betragen, während die Differenz der Sauerstoffspannung innerhalb und ausserhalb des Gefässes nur ganz wenig steigen

würde. Die Wirkung dieser drei Momente wäre nothwendig die, dass keinesfalls zehn Mal mehr Sauerstoff in die Gewebe diffundiren würden, sondern wahrscheinlich sogar bedeutend weniger wie jetzt. Auf diesem Wege wäre also die Möglichkeit zu einem zehnfachen Umsatze nicht zu erreichen. Ebensowenig durch Erhöhung des Blutdruckes auf das zehnfache. Abgesehen davon, dass das Herz dann in der Zeiteinheit die hundertfache Arbeit leisten müsste (zehn Mal mehr Blut bei zehnfachem Druck), müsste auch der Druck in den Capillaren auf das zehnfache der jetzigen Grösse steigen; es würde also 1. die Wand der Capillaren zehn Mal dicker werden müssen,[1] 2. würde wieder die Zeit, während welcher das Blutkörperchen innerhalb der Capillaren verweilt auf $^1/_{10}$ sinken. Die Sauerstoffdiffussion nach aussen durch die zehn Mal dickere Wand hin-

[1] Es ist sicher von grosser Wichtigkeit, dass der Blutdruck innerhalb der Capillaren so klein wie möglich sei; es lässt sich zeigen, dass im Körper alle Mittel angewandt sind, welche dazu dienen können, dies Resultat zu erreichen. Dazu dient vor allem die möglichste Vermeidung irgend eines Druckes im Venensystem. So liegt bei den Thieren die Mündung der Venen aller Organe, die besonders empfindlich gegen Sauerstoffmangel sind, möglichst hoch, damit der Abfluss in's rechte Herz ohne *vis a tergo* vor sich gehen kann: so das ganze Centralnervensystem, ebenso liegen Nieren, Leber, Milz, Lunge direct oben an der Wirbelsäule. Beim Menschen liegt das gegen Sauerstoffmangel empfindlichste Organ, das Hirn, ebenfalls weit über dem rechten Herzen; Leber, Milz und Nieren liegen zwar wegen des aufrechten Ganges des Menschen unterhalb des rechten Herzens, immerhin liegen sie möglichst nahe dem Zwerchfell. Gerade beim Menschen zeigt sich aber, wie schon eine leichte Steigerung des venösen Druckes gerade in diesen Organen indurative Veränderungen mit hochgradiger Functionsstörung der Organe hervorbringt. Bekanntlich bringt auch beim Hirne Steigerung des venösen Druckes durch Tieflage des Kopfes sofort mehr oder weniger bedeutende Functionsstörung dieses Organes mit sich, die erst nach vielmaliger Wiederholung offenbar durch Anpassung der Gefässe geringer werden. Auch sind z. B. bei Induration der Leber die tiefer liegenden Theile, also die Gegend des scharfen Randes, im Durchschnitt stärker verändert, wie die Theile direct unter dem Zwerchfell. Die Organe der Extremitäten sind 1) viel weniger empfindlich gegen Sauerstoffmangel, ferner besitzen hier die Venen durchweg Klappen, welche bewirken, dass nach jeder Bewegung, welche vermehrtes Sauerstoffbedürfniss dort erzeugt, der venöse Druck ebenfalls nur gering wird, ferner ist das Verhältniss der Lage von Muskel und Sehne durchweg derart, dass der Muskel nach oben, die Sehne nach unten sich erstreckt, wodurch ferner bewirkt wird, dass die untersten Theile der Extremitäten fast lediglich aus Haut und Knochen bestehen, die ein sehr geringes Sauerstoffbedürfniss besitzen.

Die Elasticität der Gefässe bewirkt, dass die Blutdruckschwankungen in den Capillaren ungemein klein werden, also nur der mittlere Druck zur Geltung kommt, und zugleich die Geschwindigkeit möglichst gleichmässig bleibt. Ebenso bewirkt die plötzliche Theilung der kleinen Endarterien in eine grosse Anzahl von Capillaren (Volkmann vergleicht dies Verhältniss der Einmündung eines Flusses in einen See), dass Druck und Geschwindigkeit in allen Capillaren der zugehörigen Arterie möglichst gleichmässig ist.

durch würde ab- statt zunehmen, keinesfalls, auch wenn der Verbrauch momentan um das zehnfache vermehrt würde, auf das zehnfache steigen. Die Möglichkeit eines zehnfachen Umsatzes wäre also, wenn der Bau der Arterienverzweigung, d. h. die Zahl und Vertheilung der arteriellen Gefässe und hiermit die Länge der Capillaren ungeändert bleiben soll, nur dadurch zu erreichen, dass die Zahl der Capillaren auf das zehnfache vermehrt wird (der Querschnitt eines Organs würde also histologisch ein total verändertes Aussehen bieten), damit würde auch der Querschnitt der grösseren Gefässe wachsen, und damit die gesammte Blut- und Gefässmasse um circa $K^{1/3}$ vermehrt werden, d. h. wir würden bei den angenommenen 64^{kgrm} Körpergewicht eine Blut- und Gefässmasse von etwa 50^{kgrm} in uns herumtragen müssen, was natürlich absurd ist. (Blut- und Gefässmasse würde also um $K^{4/3}$ wachsen müssen, wenn der Umsatz proportional K stiege.)

Eine zweite resp. dritte Grösse, die dem Körperquerschnitt proportional geht, ist die Höhe der Nahrungszufuhr. Es lässt sich auch zeigen, dass die Wärmebildung in der That direct von der Höhe der mittleren Nahrungszufuhr abhängt, d. h. nach mehr oder weniger langer Zeit sich genau auf die Höhe der mittleren Nahrungszufuhr einstellt, falls das Leben bei der betreffenden Nahrungszufuhr überhaupt auf die Dauer möglich ist. Nun hängt die Nahrungsmenge die im Tage aufgenommen werden kann *cet. par.* allein von der Grösse des Darmes ab. Wir können bei der durchgehenden Zweckmässigkeit und Sparsamkeit, die wir bei allen Einrichtungen des Organismus bewundern, unmöglich annehmen, dass unser Darm zweckloser Weise gerade so lang ist, wie er ist, dass wir mit einem zehn Mal kürzerem Darme ebensogut auslangen würden, sondern wir müssen doch wohl annehmen, dass unsere Darmlänge unserem mittleren resp. maximalen Nahrungsbedürfnisse angepasst ist, und dass der Darm also wohl zehn Mal länger werden müsste, wenn wir im Durchschnitt zehn Mal mehr Nahrung zu uns nehmen würden. Ich brauche zur Bekräftigung dieses Satzes wohl kaum darauf hinzuweisen, dass Wollny[1] in der That fand, dass Magen und Darm mit den Anforderungen, die an sie gestellt werden, ganz bedeutend an Grösse zunehmen.[2]

---

[1] *Landwirthsch. Jahrbücher* 1874. S. 209. Wolff, *Ebenda.* S. 306.

[2] Ich habe bei verschiedenen Thieren das Dünndarmlumen mit Wasser unter geringem Druck (10—40^{cm}) gefüllt und aus der gemessenen Länge und der gewogenen Wassermasse unter der Annahme, das Darmrohr sei ein gleichweiter Cylinder, die ideelle Oberfläche berechnet, wobei natürlich die Oberfläche der Zotten und Falten in Wegfall kommt. In welchem Maasse letztere die Oberfläche vermehren, würde sich erst aus eingehenden Messungen eruiren lassen, die mir bis jetzt noch nicht zu Gebote stehen; es ist jedoch wahrscheinlich, dass die durch sie bedingte Ver-

Ebenso wie der Darm um $K^{1/3}$ grösser werden, also statt proportional K, proportional $K^{4/3}$ wachsen müsste, wenn der Umsatz proportional K stiege, müsste das gleiche mit sämmtlichen übrigen sogen. vegetativen Organen (Herz, Leber, Lunge, Speicheldrüsen, Niere u. s. w.) geschehen. Da nun die Masse dieser Organe mit Einschluss der Blutmenge, der Gefässwände und des Darminhaltes über 20 Procent des Körpergewichtes beträgt, so käme man sehr bald (schon bei relativ geringen Gewichtsunterschieden) zu ganz unmöglichen imaginären Thierconstructionen.

Man könnte einwenden, es sei nicht einzusehen, warum, wenn ein Gramm Organ beim kleinen Thiere eine gewisse Arbeit leistet, das x Mal grössere Organ beim x Mal grösseren Thiere nicht auch x Mal mehr Arbeit leisten solle. Eine derartige Voraussetzung ist aber ebenso falsch, wie wenn ein Ingenieur, der ein Modell construirt hat, annehmen würde, bei x-fach vergrösserter Ausführung würde die betreffende Construction auch das x-fache leisten. Es kommt ganz auf die Art der Construction und die Art der zu leistenden Arbeit an, ob das ausgeführte Werk im Verhältniss zu seinem Gewicht mehr leistet als das Modell oder weniger, ja ob es über eine gewisse Grösse hinaus überhaupt existenzfähig ist. Die durch zwei Canäle, deren Oeffnungen in einem bestimmten Verhältnisse zu einander stehen, fliessende Wassermasse verhält sich nicht wie der Gesammtinhalt der Canäle resp. wie die Masse des verwanden Baumaterials, sondern wie die 3. Wurzel aus dem Quadrat derselben, resp. wie der Querschnitt der Canäle u. s. w.

Ich habe in Bezug auf den Thierkörper die Unmöglichkeit des Steigens der Leistung proportional dem Körpergewicht oben speciell bei der Blutcirculation nachzuweisen versucht; ich will in kurzem das Gleiche noch einmal mit Rücksicht auf die

---

mehrung der Oberfläche in einem bestimmten gleichen Verhältniss zu der auf obige Weise berechneten Oberfläche steht. Letztere geht aber genau proportional dem Querschnitt des Körpers. Setzt man D = Darmoberfläche = $a K^{2/3}$, so fand sich a bei der (weissen) Ratte (130 ^{grm}) = 307, beim Hunde von 6 ^{kgrm} = 360, bei einem Hunde von 30 ^{kgrm} = 280, beim erwachsenen Menschen (Arbeiter, Taglöhner) = 400—450. Das würde also, vorausgesetzt, dass die Constante a durch die Falten und Zotten des Darmes bei verschieden grossen Thieren nicht total verschieden beeinflusst wird, aussagen: dass durch die Einheit Darmoberfläche im Tage *ceteris paribus* (bei gleicher Qualität der Nahrung) bei allen Thieren die gleiche Einheit Nahrungsmenge resorbirt wird. Jedenfalls geben obige Messungen den Beweis, dass die Resorption einer grösseren Nahrungsmenge nothwendig an das Vorhandensein einer mindestens entsprechend grösseren Darmoberfläche und damit auch eines mehr als entsprechend grösseren und schwereren Darmes geknüpft ist.

Die Blutmenge, die den Darm in der Zeiteinheit durchströmt, verhält sich ebenfalls wie $K^{2/3}$, es trifft also auf die Einheit Blutmenge stets die gleiche Einheit resorbirter Nahrungsmenge; eine grössere Nahrungsmenge würde nothwendig auch eine entsprechend grössere circulirende Blutmenge zur Resorption erfordern.

Darmgrösse versuchen, bei welcher sich die Verhältnisse vielleicht am einfachsten klar legen lassen. Wenn die 1000 mal grössere Darmmasse des Menschen eine 1000 mal grössere Leistung ausführen sollte, wie die Darmmasse einer jungen Ratte, so würde sich dies nur erreichen lassen dadurch, dass in der Bauchhöhle des Menschen 1000 Därme von der Grösse des Rattendarms nebeneinander lägen; die Aehnlichkeit des Baues würde damit vollständig aufgegeben, wir müssten auch 1000 kleine Mägen, 1000 mal soviel gleich enge beisammenstehende kleine Zähne u. s. w. haben. Würde man die 1000 Rattendärme hintereinander einschalten, so müsste die Nahrung im Darme mit einer 1000 fach grösseren Schnelligkeit als bei der Ratte vorwärts bewegt werden, damit eben im Tage 1000 mal mehr durch den ganzen Darm hindurch könnte, es müsste also die Darmmusculatur und damit nahezu auch das Gewicht des Darmes nochmals um das 1000 fache vermehrt werden. Würde man die 1000 Rattendärme so ineinander schalten, dass die Gesammtdarmlänge des Menschen, wie es jetzt der Fall ist, das 10 fache der Darmlänge der Ratte (von 64 grm) beträgt, so würde der Umfang des Darmes das 100 fache des Umfanges von dem der Ratte betragen; Arterien, Venen und Lymphgefässe könnten nur an der dem Mesenterialansatz direct entgegengesetzten Stelle die gleiche Weite wie im Rattendarme haben, am Mesenterialansatz selbst müssten sie 100 mal weiter sein. Die Masse des Inhalts würde auf gleiche Länge das 100 fache betragen, der Druck des Inhalts auf die Einheit Oberfläche also das 10 fache ($K^{1/3}$), dementsprechend müsste die Widerstandsfähigkeit der Wandung wachsen. Die Masse des Inhalts müsste ferner 10 mal rascher vorwärts bewegt werden, wie im Rattendarme, es müsste also auch die Musculatur um das 10 fache ($K^{1/3}$) zunehmen, die Masse des Darmes würde also mindestens werden $K . K^{1/3} = K^{4/3}$, während die bewältigte Nahrungsmenge nur proportional K ist. Es verhält sich also auch unter den günstigsten Verhältnissen (noch stärkere Verkürzung des Darmes würde, wie man leicht sieht, wieder vermehrtes Wachsen der Darmmasse bedingen, wegen der Zunahme des Seitendrucks) die zu bewältigende Nahrungsmenge zur Darmmasse wie $K : K^{4/3}$. Wächst die Darmmasse also (unter Einhaltung ähnlicher Dimensionen) im Verhältniss von K, so wächst die Nahrungsmenge proportional $K^{2/3}$, denn: $K^{4/3} : K = K : K^{2/3}$.

Bei verschiedener Körpergrösse kann also nur dann, wenn der Umsatz proportional $K^{2/3}$ wächst, das relative Verhältniss der einzelnen Organe zu einander und zum Körpergewicht das gleiche bleiben. Jede Steigerung des Umsatzes in stärkerem Maasse als proportional $K^{2/3}$ würde ein Wachsen der vegetativen Organe (und der in ihrem Dienste stehenden Muskeln, wie Zwerchfell, Kaumuskel u. s. w. und des Fettreservoirs) in stärkerem Verhältniss als proportional K, also eine procentische Abnahme von Muskel- und Nervenmasse und damit eine Schwächung des Thieres bedingen, denn Haut und Knochen könnten nicht kleiner werden, da sie die gleiche Function behalten. Wenn also für ein Thier die für möglichst grosse Arbeitsleistung im Kampfe um's Dasein geeignetste Grösse des Umsatzes einmal gegeben ist, so kann für ein anderes Thier von ähnlicher Lebensweise der Umsatz nicht ohne directen Schaden für das Thier in einem stärkerem Verhältniss als $K^{2/3}$ wachsen. Ein Sinken des Umsatzes aber unter dieses Verhältniss würde von einem Sinken der Gesammtarbeitsleistung (der animalen und vegetativen Organe zusammen) und damit

ebenfalls von einer Schädigung des Thieres im Kampfe um's Dasein nothwendig begleitet sein. Wenn bei verschieden grossen Thieren die maximale Arbeitsfähigkeit erreicht werden will, muss also bei diesen Thieren der Umsatz sich verhalten wie $K^{2/3}$, nur dann kann sowohl die maximale Arbeitsfähigkeit erreicht, wie die anatomische Aehnlichkeit im Bau bewahrt werden.

---

d) I. Während wir bisher von rein morphologischen Erwägungen ausgingen und frugen, wie gross ist die durch den Körperquerschnitt circulirende Blutmenge, wie gross die Nahrungsaufnahme u. s. w. bei verschieden grossen Thieren, wenn die anatomische Aehnlichkeit des Baues gewahrt bleibt, kann man auch von einem anderen Standpunkte von teleologischen (in Darwinistischem Sinne) Erwägungen ausgehen und fragen: in welchem Verhältniss muss die äussere Arbeitsleistung verschieden grosser Thiere zu einander stehen, wenn sie gegenseitig concurrenzfähig sein sollen.

Nun hängt die Concurrenzfähigkeit verschiedengrosser Thiere, die ähnliche Lebensweise führen, unter den gleichen Bedingungen des Nahrungserwerbes stehen, die gleichen äusseren Feinde besitzen, in erster Linie davon ab, dass sie sich gleichschnell fortbewegen können. Irgend eine Art, die sich auffallend langsamer bewegt, würde nothwendig mit der Zeit durch Nahrungsmangel oder äussere Feinde zu Grunde gehen. Aber auch bei Thieren, die in ihrer Lebensweise sehr verschieden sind, wie der Pflanzenfresser und das Raubthier, hängt die Erhaltung der Art zum grossen Theil, und zwar gegenseitig, davon ab, dass sie sich wenigstens annähernd gleich schnell zu bewegen vermögen. Es läuft der Hund oder Wolf kaum langsamer als das Pferd oder der Hirsch, der Hase oder Fuchs kaum langsamer als der Hund; selbst ganz kleine Thiere, wie die Ratten, laufen bei Gefahr noch mit einer Schnelligkeit, die wohl nicht sehr viel hinter der Schnelligkeit grösserer Thiere zurückbleibt.

Gesetzt nun zwei Thiere verschiedener Grösse aber ähnlichen Baues liefen gleich schnell, so ist die Länge ihrer Schritte proportional $K^{1/3}$, die Zahl ihrer Schritte in der Zeiteinheit proportional $K^{-1/3}$, die Endgeschwindigkeit ihrer Beine von der Masse proportional K ist bei beiden Thieren nach jedem Schritte die gleiche. Der Widerstand der hierbei zu überwinden ist, besteht 1. im Ueberwinden des Luftwiderstandes, 2. im Nachvornebewegen ihrer Beine plus einer entsprechenden Luftmasse, 3. bei lockerem oder nachgiebigem Boden im Verdrängen der oberflächlichen Schichten beim Abstossen der Füsse, 4. im Ueberwinden der kleinen vertikalen Schwankungen des Schwerpunktes, 5. giebt es bei jedem Schritte eine Reihe

accessorischer Muskelbewegungen, um das Gleichgewicht des Körpers zu erhalten, um die Gelenke festzustellen u. s. w., eine Arbeit, die durchaus nicht gering geschätzt werden darf.

Am klarsten liegen die Verhältnisse beim schwimmenden Thier (Fisch oder Seesäugethier), da hier der Einfluss der Schwere wegfällt. Die zu leistende Arbeit bei gleicher Geschwindigkeit besteht hier in 1. Ueberwinden des Reibungswiderstandes des Wassers = proportional $K^{2/3}$, 2. im Vorwärtsbewegen ihrer Flossen plus einer entsprechenden Wassermasse entgegen der Wasserströmung in der Zeiteinheit $K^{-1/3}$ Mal, also $= K . K^{-1/3} = K^{2/3}$, 3. im Rückwärtsbewegen einer Wassermasse, die proportiona ist der Fläche ihrer Flossen u. s. w. mal der Länge derselben, in der Zeiteinheit $K^{-1/3}$ Mal, also proportional $K^{2/3} . K^{1/3} . K^{-1/3} = K^{2/3}$, Nr. 4 fällt hier weg, während 5. ebenfalls proportional $K^{2/3}$ gehen muss, also die Gesammtarbeit bei gleicher Geschwindigkeit $= C K^{2/3}$.

Beim Laufen der Thiere auf der Erde wird die Berechnung der erforderlichen Arbeit etwas schwieriger, weil der Einfluss der Schwere mit in Berechnung kommt. Diese macht sich schon bei der horizontalen Bewegung der Beine geltend. Die Gebr. Weber[1] und nach ihnen Fick[2] nehmen an, dass die Bewegungen der Beine nach vorne speciell beim Menschen so gut wie gar keine Arbeit erfordern, indem sie als Pendel-

---

[1] *Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge* von Wilhelm Weber und Ed. Weber. Göttingen 1836. — Die Gebrüder Weber und ihnen folgend Fick (*Handbuch der Physiologie* a. a. O.) geben als Kräfte, welche beim Gehen in's Spiel kommen, an: 1) der Widerstand der Luft, 2) die Schwere, welche dem Schwerpunkt des Körpers eine Beschleunigung senkrecht abwärts zu ertheilen strebt, 3) die Spannung der Muskeln; diese Kräfte müssen sich im Gleichgewicht halten, d. h. (wie Weber genauer ausführt) die Spannung der Muskeln solle den beiden ersten Kräften das Gleichgewicht halten. Dass diese Theorie in dieser Form unrichtig ist, dürfte nicht schwer nachzuweisen sein. Es ist nicht die „Streckkraft“ des Beines, welche beim Gehen der Schwere das Gleichgewicht hält, sondern es ist (grösstentheils) der Widerstand des knöchernen Skelets, welcher der Schwere entgegen wirkt, und welcher als vierte Kraft hätte angeführt werden müssen. Allerdings, wenn man z. B. Fig. 15 auf Taf. XV der Weber'schen anatomischen Abbildungen sich als ruhend denkt, würde eine grosse Muskelkraft dazu gehören, den Schwerpunkt in dieser Stellung auf gleicher Höhe zu halten. Die Figur ist aber nicht ruhend, sondern der Schwerpunkt besitzt eine grosse Geschwindigkeit nach vorne, während das Knie keine Geschwindigkeit besitzt. Der Schwerpunkt kann also, solange das Knie fixirt ist, nicht nach abwärts fallen, da er sich, auf dem Femur liegend, nach vorne zu bewegen muss u. s. w. Auch das Heben der Ferse geschieht grösstentheils rein mechanisch durch das Vorwärtsbewegen und Strecken des Kniees u. s. w. Bei rascherem Gehen oder Laufen wird ferner ein immer grösserer Theil des Gewichtes durch den Widerstand der Luft getragen, und zwar genau entsprechend dem Grade, in dem wir den Schwerpunkt beim rascheren Laufen nach vorne legen. Auch diesen Umstand hat Weber vollkommen übersehen.

[2] Hermann's *Handbuch der Physiologie.* Bd. I, 2. S. 325.

bewegungen lediglich durch die Schwere bedingt würden. Ich könnte danach also den Widerstand in Nr. 2 für den Menschen und eventuell für die übrigen Säugethiere einfach streichen. Es ist jedoch die Theorie, dass das nach vorne Bewegen der Beine keine Arbeitsleistung von Seiten des Menschen erfordere, selbst dann nur *cum grano salis* zu verstehen, wenn man annimmt, dass während der Vorwärtsbewegung nur die Kraft der Schwere auf die Beine einwirke. Die umgebenden Bänder und Muskeln dämpfen nämlich die schwingende Bewegung des Beines ganz colossal, wie man sich leicht durch den Versuch an der Leiche überzeugt: das losgelassene Bein macht kaum eine ganze Schwingung. Es ist also die lebendige Kraft, die das Bein am Ende der Vorwärtsschwingung erlangt hat, nur ein Bruchtheil der Arbeit, die nöthig ist, um das Bein wieder so hoch zu heben, damit es nun von neuem ebensoweit nach vorne schwingen kann. Letztere Arbeit wird grösstentheils gewonnen durch relative Verminderung der Schnelligkeit des Schwerpunktes des ganzen Menschen, und kann wie gesagt nur zum Theil wiederersetzt werden durch die lebendige Kraft, die das Bein in Folge der Wirkung der Schwerkraft erlangt; die Differenz muss durch active Arbeitsleistung ersetzt werden.

Man könnte meinen, das Heben des nach rückwärts sich bewegenden Beines auf die frühere Höhe sei schon unter den sub 4) genannten verticalen Schwankungen des Schwerpunktes mit inbegriffen, dies ist jedoch nicht der Fall. Bei 4) handelt es sich um die sichtbaren und direct messbaren Schwankungen des als constant angenommenen anatomischen Schwerpunktes des ganzen Menschen, die nach Weber beim Gehen 32 mm betragen; beim Rückwärtsbewegen der Beine um ein Heben des Schwerpunktes des Beines und damit um ein Heben des seine Lage wechselnden wirklichen (physikalischen) Schwerpunktes des ganzen Menschen. Es könnten die Schwankungen des anatomischen Schwerpunktes statt 32 mm auch 0 mm betragen, die zum Rückwärtsbewegen des Beines und damit zum Heben des physikalischen Schwerpunktes des Menschen nöthige Arbeit würde ganz die gleiche bleiben. Es braucht also keine absolute Abnahme der Schnelligkeit des Schwerpunktes beim Heben des nach rückwärts bewegten Beines zu erfolgen, die Hebung bei der Rückwärtsbewegung kann auch erreicht werden dadurch, dass der „anatomische“ Schwerpunkt so weit sinkt, dass trotz des Hebens des Beines kein Heben des „physikalischen“ Schwerpunktes des Menschen eintritt.

Bei der anatomischen Einrichtung des Beines der Thiere kommt es beim Rückwärtsbewegen des Beines wohl kaum zu einer Hebung des Schwerpunktes des Beines, trotzdem gilt das oben Gesagte natürlich auch für die Hin- und Herbewegung der Beine der Thiere, d. h. auch angenommen: während der Vorwärtsbewegung der Beine mache sich lediglich die Schwerkraft geltend, so müsste dann doch lebendige Kraft aufgewandt werden, um das Bein wieder so weit rückwärts zu bewegen, dass es nun von neuem in derselben Weise nach vorne schwingen könnte, denn durch die Kraft der Schwere allein würde es bei weitem nicht mehr so weit nach rückwärts schwingen.

Es ist ferner auch von Marey[1] direct nachgewiesen und ergiebt sich deutlich aus seinen photographischen Momentaufnahmen, dass die Schnellig-

---

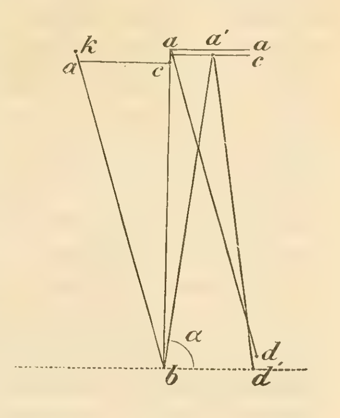
[1] *Comptes rendus.* 1884.

keit des nach vorne schwingenden Beines keine den Fallgesetzen entsprechend beschleunigte, sondern eine mehr gleichmässige, also offenbar durch Muskelzug beeinflusste ist.

Ferner muss beim Laufen das Bein auch viel stärker flectirt werden, als aus der Wirkung der Schwere allein erklärbar ist.

Die Arbeit die der Körper für die Hin- und Herbewegung der Beine aufwenden muss ($=$ proportional $K . K^{-1/3} = K^{2/3}$), ist deshalb sicherlich keine unbedeutende Grösse.

Der umgekehrte Fehler, d. h. ein Zuhochschätzen der dazu erforderlichen Arbeit scheint mir bei den verticalen Schwankungen des Schwerpunktes gemacht. Es scheint mir nämlich zweifellos zu sein, dass die durch das Fallen des Schwerpunktes erlangte lebendige Kraft grösstentheils in horizontale Beschleunigung umgesetzt wird, also nicht verloren geht. Beim Gehen wird das Bein *a b* (der Figur) vorgesetzt, der Schwerpunkt *k* bewegt sich vermöge der ihm ertheilten Schnelligkeit nach vorne und muss dabei nothwendig unter Abnahme seiner Geschwindigkeit um *c a* aufsteigen (Das Aufsteigen ist nicht ganz so gross wie es aus der Figur [1] sich ergeben würde, weil das Bein, während es die senkrechte Stellung passirt, leicht gebeugt ist und erst beim Zurückbleiben wieder ganz gestreckt wird.) Beim Vorsetzen des anderen Beines fällt der Schwerpunkt wieder um *a c*. Dass die durch dieses Fallen erlangte lebendige Kraft sich zum grössten Theil in horizontale Beschleunigung umsetzt, ersieht man leicht, wenn man annimmt, es falle ein Körper von der Figur *b a d* in die Stellung *b a′ d′*. Der Schwerpunkt wird dabei eine Geschwindigkeit nach vorne erhalten prop. $\sin \alpha . \sqrt{ac}$, während der Verlust an Energie sein wird prop. $ac \cos^2 \alpha$; also wenn α nahe 90^0 ist, wird fast die gesammte lebendige Kraft in horizontale Beschleunigung umgesetzt, bleibt also erhalten, da dann $ac \sin^2 \alpha$ nahezu gleich ac ist. Alles was ausserdem dazu beiträgt, die Grösse ac zu verkleinern, bewirkt indirect eine Vergrösserung des Theils, der sich in horizontale Beschleunigung umsetzt. Deshalb wird das Bein in senkrechter Lage nicht ganz gestreckt und wird beim Aufsetzen des Fusses, um das Bein zu verlängern, die Ferse nach abwärts gestreckt und werden beim Abstossen des



[1] Die Figur ist natürlich nur grob schematisch gedacht.

Fusses die Zehen nach abwärts gestreckt.[1] Beim Laufen (s. Weber) wird der Schwerpunkt überhaupt viel tiefer getragen, das Bein gelangt beim Schwingen nach vorne nicht über die senkrechte Lage hinaus und wird bei gebogenem Knie mit den Zehenballen aufgesetzt, die verticale Schwankung (ac) wird dabei möglichst verkleinert, sie beträgt beim erwachsenen Menschen nach Weber bekanntlich nur 22 mm, so dass der grösste Theil der erlangten lebendigen Kraft in horizontale Beschleunigung umgesetzt wird.

Ohne den Einfluss der Schwere wäre die Arbeit beim laufenden Thiere bei gleich schnellem Laufe ebenfalls proportional $K^{2/3}$, da die Widerstände in Nr. 1—5 beim laufenden Thiere genau den gleichen Nummern beim schwimmenden Thiere entsprechen. Durch die Einwirkung der Schwere wird der Ablauf der Bewegung zwar beeinflusst, aber, wie ausgeführt, nur in relativ geringem Grade; auch deshalb gering, weil sich der Einfluss einestheils als Hemmung (in Nr. 4), anderntheils als Beschleunigung (in Nr. 2) geltend macht und sich die beiden Einflüsse gegenseitig theilweise aufheben. In Nr. 2 macht sich der Einfluss der Schwere derart geltend, dass die Geschwindigkeit der grossen Thiere in stärkerem Grade vermehrt wird, als beim kleinen Thier; und zwar würde sich, wenn alle Widerstände in Nr. 1—5 wegfielen, durch den Einfluss der Schwere in Nr. 2 die Geschwindigkeit der ähnlich gebauten Thiere *cet. par.* verhalten wie $K^{1/6} : K'^{1/6}$, also proportional $K^{1/6}$ gehen, da die Pendelschwingungen der $K^{1/3}$ langen Beine $K^{1/6}$ Zeit brauchen und dabei den Weg $K^{1/3}$ zurücklegen. In Nr. 4 macht sich der Einfluss der Schwere in umgekehrter Richtung geltend, d. h. er verlangsamt die Geschwindigkeit grosser Thiere in stärkerem Grade als die Geschwindigkeit kleiner Thiere, da die Strecke ac offenbar proportional $K^{1/3}$ wächst, so dass die Arbeit, die durch die verticalen Schwankungen des Schwerpunktes dem Körper erwächst, sich verhält wie $K \,.\, K^{1/3} \,.\, K^{-1/3} = K$, während die zur Verfügung stehenden Kräfte (s. w. u.) und die übrigen

[1] Da, wie in Anmerkung 1 S. 341 ausgeführt, nicht die Streckkraft des Beines, bez. deren wagerechte Componente es ist, welche der Schwere das Gleichgewicht hält, und da wir die Länge des unterstützenden Beines innerhalb bestimmter Grenzen beliebig ändern, auch das Becken beliebig hoch tragen können, so können wir natürlich auch, wenn wir besondere Aufmerksamkeit darauf verwenden, z. B. den eigenen Schatten genau beobachten, die verticalen Schwankungen des anatomischen Schwerpunktes nahezu vollkommen vermeiden (bei einiger Uebung sogar bei rascherem Gehen), ohne dass die Gleichmässigkeit des Gehens darunter leidet, nur ist die durch diese Art des Gehens und die dauernde Selbstbeobachtung bedingte Arbeit etwas grösser, als die Arbeit, die beim gewöhnlichen Gehen durch die kleinen verticalen Schwankungen hervorgerufen wird. Auch ergiebt sich aus Marey's Momentaufnahmen deutlich, dass in der Zeit, wo der Schwerpunkt des Körpers sinkt, die Geschwindigkeit desselben nach vorne noch etwas zunimmt, während sie nach Fick während dieser Zeit schon wieder abnehmen müsste.

Widerstände sich nur verhalten wie $K^{2/3}$. Es wird durch den Einfluss der Schwere in Nr. 4, also der beschleunigende Einfluss der Schwere in Nr. 2 etwas vermindert. Immerhin wird das ähnlich gebaute grössere Thier bei normaler Laufart durch den Einfluss der Schwere in Nr. 2 eine um einen geringen Bruchtheil grössere Geschwindigkeit erlangen als das kleine Thier, wenn die aufgewandten Kräfte proportional $K^{2/3}$ gehen.

Es lässt sich der Einfluss der Schwere in Nr. 2 vielleicht am ehesten klar machen durch den Vergleich mit zwei verschieden grossen Pendeln von ähnlichen Dimensionen, welche Reibungswiderstände zu überwinden haben prop. $K^{2/3}$ (z. B. in einer Flüssigkeit schwingen u. s. w.), und durch ein fallendes Gewicht, ähnlich wie bei einem Uhrwerk in Bewegung erhalten werden, wobei das fallende Gewicht die zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte ($= A$) darstellt. Wenn die Widerstände gleich Null sind, würden wir, sobald das Pendel einmal in Bewegung ist, überhaupt keiner Arbeit mehr bedürfen, die mittlere Geschwindigkeit der Pendel wäre aber prop. $K^{1/6}$. In dem Maasse, als die Widerstände mehr und mehr wachsen, würden wir das fallende Gewicht zu vermehren haben (und zwar, wenn die mittlere Geschwindigkeit $K^{1/6}$ bleiben soll, prop. K). Steigen die Widerstände in so hohem Grade, dass die Arbeit der Schwere beim Fallen des Pendels unendlich klein wird gegenüber der Arbeit der Widerstände, so wird die Schnelligkeit, mit der sich die Pendel unter ähnlichen Schwingungen bewegen, offenbar proportional gehen der Grösse $\sqrt{\frac{A}{K^{2/3}}}$, da $K^{2/3} v^2 = A$. Um also bei beiden die gleiche mittlere Geschwindigkeit und ähnliche Excursionen zu erzielen, müsste die Arbeit prop. $K^{2/3}$ gehen. Solange der beschleunigende Einfluss der Schwere aber nicht unendlich klein gegenüber der Arbeit der Widerstände ist, würde das grössere Pendel, wenn die zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte sich wie $K^{2/3}$ verhalten, immer noch um etwas schneller schwingen müssen, als das kleine.

Nun ist die Arbeit der Widerstände beim laufenden Thier zwar gross, aber nicht unendlich gross gegenüber dem beschleunigenden Einfluss der Schwere auf die Beine des laufenden Thieres, es wird folglich, wenn die Arbeit prop. $K^{2/3}$ geht, die Schnelligkeit beim grossen Thier um etwas grösser sein als beim kleinen, der Unterschied wird aber (zumal bei dem gegentheiligen Einfluss der Schwere in Nr. 4) nur sehr gering sein können, er kann erst bei sehr grossen Gewichtsunterschieden eine merkbare Grösse werden.

Man kann zur Ableitung der Grösse der Arbeitsleistung verschieden grosser Thiere auch den Newton'schen Satz von der Aehnlichkeit der Bewegungen verwenden, welcher lautet:[1] Zwei Systeme, die einander geometrisch ähnlich sind nach dem Aehnlichkeitsverhältnisse α, deren homologe Punkte Massen vom constanten Verhältnisse β besitzen, und an deren homologen Punkten Kräfte wirken, deren Richtungen und Sinn in beiden ähnliche Lage und Intensitäten besitzen, welche im constanten Verhältnisse γ stehen, welche ferner von homologen Stellungen mit Geschwindigkeiten ausgehen, deren Verhältniss $\delta = \sqrt{\frac{\alpha\gamma}{\beta}}$ ist, führen durchweg ähnliche Bewegungen aus, und zwar ist das Verhältniss der homologen Zeiten, in welchen je zwei homologe Punkte homologe Bahnstrecken beschreiben $\varepsilon = \sqrt{\frac{\alpha\beta}{\gamma}}$, und behalten die Geschwindigkeiten das Ver-

[1] Schnell, *Theorie der Bewegungen und Kräfte.* Bd. II. S. 514.

hältniss δ fortwährend bei. Sind die gleichen Verhältnisse erfüllt und α, β, δ, ε bekannt, so ergiebt sich γ als $= \frac{\delta^2 \beta}{\alpha} = \frac{\alpha \beta}{\varepsilon^2}$. Wenn wir dafür die entsprechenden Werthe beim Thierkörper einsetzen und δ als constant, $\varepsilon = K^{1/3}$ einsetzen, so haben wir γ (die bewegenden Kräfte) $= \frac{1 \,.\, K}{K^{1/3}} = \frac{K^{1/3} K}{K^{2/3}} = K^{2/3}$, d. h. bei gleichschnellem Lauf ist das Maass der zur Fortbewegung aufgewandten Kräfte prop. $K^{2/3}$.

γ ist das Verhältniss der Summe aller Kräfte, die auf den Thierkörper einwirken, es ist also gleich $\gamma' + \gamma''$, wenn wir mit γ' das Verhältniss der Kräfte, die im Thierkörper selbst frei werden, und mit γ'' den Antheil, der durch den Einfluss der Schwere hinzukommt, bezeichnen. Nun ist γ'' aus den früher angeführten Gründen zwar klein im Verhältniss zu γ', es steigt aber nicht prop. $K^{2/3}$, sondern prop. K. Wenn also δ constant bleibt, ist γ' etwas kleiner als $K^{2/3}$; wenn aber $\gamma' = K^{2/3}$ bleibt, so wird

$$\delta = \sqrt{\frac{\alpha(\gamma' + \gamma'')}{\beta}} = \sqrt{K^{1/3}(aK^{2/3} + xK)K^{-1}} = \sqrt{a + xK^{1/3}},$$

d. h. es wird dann die Schnelligkeit beim grösseren Thier etwas grösser werden, aber wenn x klein im Verhältniss zu a, offenbar nur um eine kleine Grösse; würde a unendlich klein werden gegen x, so würde $\delta = K^{1/6}$.

Ist das grosse Thier (wenn $\gamma' = K^{2/3}$) also um ein Geringes leistungsfähiger beim Laufen in der Ebene, als ein kleines Thier, so ist umgekehrt das kleine Thier beim Klettern, Bergauflaufen viel leistungsfähiger als das grosse, da die erforderliche Arbeit beim Heben des Körpers prop. K geht, während die zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte nur prop. $K^{2/3}$ gehen. Das Kind ist also beim Bergsteigen relativ leistungsfähiger als der Erwachsene, wenn man ihre Leistungen beim Bergsteigen vergleicht mit ihren Leistungen beim Gehen in der Ebene. Die grossen und schweren Säugethiere sind auch alle vorzugsweise Bewohner der Ebenen und vermeiden bekanntlich, wenn sie einmal in die Berge gehen (z. B. Elephanten), thunlichst alle grösseren Steigungen. Dagegen sind die rasch und andauernd kletternden Thiere alle klein. Auch in den Bergen lebende Thiere bewegen sich hauptsächlich in horizontaler Richtung, besonders beim raschen Laufen, bei der Flucht wird thunlichst die horizontale Richtung gewählt. Wählt ja auch der Mensch stets die möglichst horizontale Richtung für seine Wege.

Beim einzelnen Sprung ist das grosse Thier um etwas leistungsfähiger als das kleine, da der Widerstand der Luft bei ihm kleiner ist.

Beim Fluge ist das kleinere Thier sehr im Vortheil gegenüber dem grossen, da die Flügelfläche im Vergleich zum Gewichte, das darauf ruht, beim grösseren Thier immer kleiner wird. Das grössere Thier muss also einen viel grösseren Bruchtheil seiner Arbeit darauf verwenden, sich eben schwebend zu erhalten (durch Steilerstellen der Flügelfläche), und kann nur einen entsprechend kleineren Bruchtheil auf die Fortbewegung verwenden. In der That sieht man grössere Vögel (Geier u. s. w.) immer in mehr „majestätischem“, langsamem Fluge dahingleiten, im Gegensatze zu dem raschen Fluge z. B. der Schwalben. Nur beim Herabstossen ist der grosse Vogel im entschiedenen Vortheil gegenüber dem kleinen. Gerade die kleinsten Vögel, die Colibris, sind wegen ihrer blitzartigen Schnelligkeit berühmt. Auch Helmholtz meint, dass die grossen Geier bereits die äusserste Grenze der möglichen Grösse für gute Flieger bilden und zwar obwohl er dabei von der unrichtigen Annahme ausgeht, die Grösse der zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte wachse pro Zeiteinheit prop. K.

Aus der Formel $\delta = \sqrt{\frac{\alpha\gamma}{\beta}}$ ergiebt sich ferner, dass von zwei Individuen gleicher

Species mit gleichen Kräften (wenn also $\gamma = 1$ ist), dasjenige mit relativ längeren Extremitäten (relativ zu $K^{1/3}$) einer grösseren Schnelligkeit fähig ist, als das andere, da $\frac{\alpha\gamma}{\beta}$ grösser wird. Wenn aber α relativ grösser wurde nicht z. B. durch Fettabnahme, sondern lediglich in Folge allgemeiner Abmagerung mit Muskelschwund, so wird das schlankere Thier geringerer Schnelligkeit fähig sein, oder bei gleicher Schnelligkeit relativ grösseren Kraftaufwandes bedürfen, also leichter ermüden, als das schwerere, da bei Abmagerung die Muskelmasse und damit auch γ in rascherem Maasse sinkt, als die Masse des Körpers (β), also $\frac{\alpha\gamma}{\beta}$ kleiner wird.

Wenn also die Arbeit in der Zeiteinheit proportional $K^{2/3}$ geht, wird die Schnelligkeit grosser und kleiner Thiere annähernd die gleiche bleiben, erst bei grossen Gewichtsunterschieden wird sie beim grossen Thier um ein Geringes grösser werden. Oder umgekehrt, wenn beide Thiere annähernd gleiche Schnelligkeit besitzen sollen, muss ihre Arbeit und der dadurch bedingte Umsatz proportional $K^{2/3}$ gehen.

d) II. Ehe ich jedoch von diesem Resultate weiter schliesse, muss ich in Kurzem eine scheinbare Abweichung vom eigentlichen Thema einschlagen, es wird sich jedoch zeigen, dass das Resultat dieser Abweichung gerade für die Lösung der gestellten Frage von grosser Wichtigkeit ist.

Es ist von Interesse, die Arbeit zu berechnen, die das einzelne Muskeltheilchen (sarcous element) bei verschieden grossen Thieren bei gleichwerthigen (homologen) Bewegungen leistet.

Die Höhe der Querstreifung ist bei grossen Thieren nicht grösser als bei kleinen, ebenso ist in der Breite der Muskelprimitivfibrillen kein erkennbarer Unterschied. Auch bei der Abmagerung tritt, wie ich mich durch specielle Messungen überzeugt habe, in der Höhe der Querstreifung keinerlei erkennbare Aenderung ein. Die Einheit Muskelmasse enthält also stets die gleiche Anzahl kleinster Muskeltheilchen (sarcous elements). Da nun, wie in d) I ausgeführt, bei gleichwerthigen Bewegungen die Höhe der Gesammtarbeit pro Zeiteinheit proportional $K^{2/3}$, also pro Contraction bei ähnlich gebauten Thieren proportional K, resp. proportional der Grösse der thätigen Muskelmasse geht, so folgt daraus, dass jedes Muskeltheilchen bei seiner Contraction bei allen Säugethieren bei homologen Bewegungen (beim Laufen in der Ebene) die gleiche Arbeit leistet. Es bewegt die Einheit Muskelquerschnitt allerdings eine Masse proportional $K^{1/3}$, dem Muskelquerschnitt entspricht aber auch eine Länge proportional $K^{1/3}$, es braucht in Folge dessen jedes Muskeltheilchen der Masse $K^{1/3}$ nur die Geschwindigkeit $K^{-1/6}$ zu ertheilen; die Endgeschwindigkeit wird dann durch das Zusammenwirken von $K^{1/3}$ Theilchen in einer Längsfaser $= \sqrt{K^{1/3}} \cdot K^{-1/6} = 1$, d. h. sie bleibt

constant und die Arbeit des einzelnen Muskeltheilchens ist $K^{1/3} . (K^{-1/6})^2 = 1$, also ebenfalls constant. Die Strecke, um welche sich das einzelne Muskeltheilchen bei der Contraction verkürzt, bleibt bei grossen und kleinen Thieren ebenfalls die gleiche, sonst wären homologe Bewegungen überhaupt nicht möglich.[1] Die Gleichheit der Arbeit (A) pro Contraction bei homologen Bewegungen in der Ebene für die Einheit Muskelmasse (Z) bei verschieden grossen Thieren (d. h. das Verhältniss $A : A' = Z : Z'$ oder $\frac{A}{Z} = a =$ Constante) macht es mehr als wahrscheinlich, dass die Gleichung $A : A' = Z : Z'$ überhaupt für jede Art von Bewegungen gilt, dass also die vom Muskeltheilchen geleistete Arbeit sowohl bei maximalem Reize wie bei irgend einem Reize von bestimmter, aber stets relativ gleicher Höhe bei allen Säugethieren gleich gross ist.[2] Diese Annahme findet einen Prüfstein in den Verhältnissen des Herzens, resp. im Vergleich der Herzarbeit mit der Herzgrösse bei verschiedenen Thieren, da man bei der gleichmässigen Thätigkeit des Herzens wohl ohne Einwurf annehmen darf, dass die mittlere Arbeit desselben bei allen Thieren der gleiche Bruchtheil der überhaupt möglichen maximalen Herzarbeit ist. Da bei einer Reihe von Thieren Pulszahl (P), Blutdruck (D) und Herzgrösse (G) wenigstens annähernd genau bekannt sind, so hat man also zu prüfen, ob ihr gegenseitiges Verhalten obiger Annahme entspricht, oder nicht, d. h. ob sich unter der Annahme $\frac{A}{Z} = a$ direct gesetzmässige Beziehungen zwischen den drei Grössen P, D und G finden lassen, oder ob sich unmögliche Widersprüche ergeben. Ich werde diese Berechnung hier in Kurzem vornehmen, um die Richtigkeit der Annahme $\frac{A}{Z} = a$ zu beweisen, da sich aus der Gleichung $\frac{A}{Z} = a$ auf

---

[1] Erfolgt die Zusammenziehung nicht momentan in der ganzen Länge der Muskelfaser, sondern geht sie wellenförmig vom Nervenendapparat auf die nächstliegenden Muskeltheilchen über, wie es heute allgemein angenommen wird, so würde auch die Zeit, die das einzelne Muskeltheilchen bei gleichwerthigen Bewegungen zur Contraction braucht, bei allen Thieren vollkommen gleich sein können, falls die Zahl der zwischen zwei Nervenendigungen liegenden Muskeltheilchen prop. $K^{1/3}$ wächst, wie es ja bei dem sonstigen ähnlichen Bau der Thiere nicht unwahrscheinlich ist. Doch ist in Bezug auf diese quantitative Frage um so weniger bekannt, als die Physiologie sich erst noch mit der qualitativen Frage nach der Art der Nervenendigungen zu befassen hat. (Siehe Kühne in *Zeitschrift für Biologie*. Bd. XXIII. S. 1.)

[2] Mit dem Stärkerwerden der Contraction wachsen offenbar die inneren Widerstände bei der molecularen Verschiebung im Muskeltheilchen; es fällt also ein immer grösserer Bruchtheil der Gesammtarbeit auf innere Arbeit, ein geringerer auf äussere nützliche Arbeit. Ein Reiz, der doppelt so grosse Gesammtarbeit und dementsprechenden Umsatz bedingt, hat also nicht doppelt so grosse äussere Arbeit zur Folge (vergl. Fuchs, Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XIX. S. 7).

mathematischem Wege die Nothwendigkeit der Formel $W = a K^{2/3}$ ableiten lässt.

Für Thiere von gleichem Ernährungszustand, deren Umsatz also (siehe Einleitung) proportional $K^{2/3}$ geht, würde sein 1. $PSH = a K^{2/3}$ (wenn S = Systolegrösse, H = Haemoglobingehalt des Blutes und a = Constante).[1] Ferner wäre 2. $(D + \frac{c^2}{2g})\, S = bG$ (wenn c = Strömungsgeschwindigkeit des Blutes). Da $\frac{c^2}{2g}$ nur sehr klein ist — nach Volkmann's Zahlen berechnet es sich auf 8^{mm} — so kann $(D + \frac{c^2}{2g}) = D$ gesetzt werden, also ist $DS = bG$. Durch Elimination von S aus Gleichung 1 und 2 wird $bPGH = aDK^{2/3}$ oder 3. $\frac{D}{PK^{1/3}} \cdot \frac{K}{GH} = d$. Bei zwei Thieren, bei welchen $\frac{K}{G}$ und H constant sind (s. w. u.), würde sein 4. $\frac{D}{PK^{1/3}} = d$ oder $\frac{D}{P} = dK^{1/3}$. Berechnet man nach den Angaben, die Vierordt S. 128, 130 und 138 seiner Arbeit: „*Die Gesetze der Strömungsgeschwindigkeiten des Blutes etc.*" für D, P und K macht, die Grösse der Constante d aus der Formel 4, so ergiebt sich d

für das Pferd	0·70,
„ den Menschen	0·70,
„ den Hund	0·77,
„ das Ziegenböckchen	0·80.

Nur für das Kaninchen ($1 \cdot 37^{\text{kgrm}}$) ergiebt sich eine etwas grössere Abweichung (0·34). Zieht man aber in Berechnung, dass (siehe am Schlusse) die relative Grösse von H wie PSH beim Kaninchen nur ca. 0·7 von der der erstgenannten vier Thiere, die von $\frac{G}{K}$ nur circa 0.5 beträgt, so wird beim Kaninchen d aus Gleichung 3 = 0·68.

Es erweist sich in der That die Grösse $d = \frac{D}{PK^{1/3}} \cdot \frac{K}{GH}$ als eine constante, vom Körpergewicht u. s. w. unabhängige Grösse, d. h. das Herzgewicht geht direct proportional der Grösse der Arbeit beim einzelnen Pulsschlage.

Ich bemerke hierbei ausdrücklich, dass ich weniger Gewicht auf die volle Uebereinstimmung der berechneten Zahlen für d, als auf den Umstand lege, dass sich trotz der colossalen Gewichtsunterschiede der Thiere keine grössere Abweichung, welche die Annahme $\frac{A}{Z} = a$ direct widerlegen würde, ergiebt. Die grosse Uebereinstimmung muss ich bei dem Umstande, dass Haemoglobingehalt wie Herzgrösse und Sauerstoffverbrauch individuell

---

[1] S. *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XVIII. S. 631.

je nach dem Ernährungszustand stark schwanken, und dass keines derselben von Vierordt bei seinen von ihm benutzten Thieren direct bestimmt wurde, mehr als einen glücklichen Zufall betrachten.

Es ergiebt sich ferner aus $S = \frac{a K^{2/3}}{PH}$, dass S nicht direct prop. K gehen kann, denn dann wäre $P = K^{-1/3}$ und $D =$ Constante, was beides unmöglich ist. Aus den von Vierordt angegebenen Grössen berechnet sich annähernd $D = a K^{1/6}$ und $P = a K^{-1/6}$, wie sich aus folgender Tabelle ergiebt:

Thier	Gewicht K	Blutdruck D	Puls P	Relative Zahlen von D	$\frac{1}{P}$	$K^{1/6}$	$K^{2/11}$
Pferd	380	280	55	28	26	28	29
Mensch	63·6	200	72	20	20	21	21
Hund	9·2	150	96	15	15	15	15
Ziegenböckhen .	3·75	135	110	13·5	13	13	13
Kaninchen . . .	1·37	80	210	8·0	8·5	11	10·5

Mit Ausnahme des Kaninchens, bei dem sich auch hier wieder D zu klein und P zu gross erweist, stimmen die übrigen Grössen sehr wohl überein. Die Abweichung des Kaninchens beweist, dass D und P nicht direct von K abhängen, sondern wahrscheinlich von G und S und dem mittleren O-Verbrauche. S muss bei gleichem $\frac{G}{K}$ und H darnach prop. $K^{5/6}$, bez. $G^{5/6}$ gehen, da $S = \frac{bG}{D}$.[1]

Doch möchte ich, so lange keine rationelle Ableitung der Abhängigkeit des Pulses und Blutdrucks vom Körpergewicht gegeben ist, auch auf obige Uebereinstimmung von P^{-1} und D mit $K^{1/6}$ kein allzugrosses Gewicht legen; nothwendig ist nur, wenn die früheren Voraussetzungen erfüllt sind, dass $\frac{D}{P} = K^{1/3}$.

Dagegen stehen die oben angeführten Formeln sowie die Annahme $\frac{A}{Z} = a$ nicht in Uebereinstimmung mit den mit Hülfe der Infusionsmethode gefundenen „Kreislaufsdauern" des Blutes, da die Kreislaufsdauer proportional der Blutmenge dividirt durch $PS\left(= K^{2/3}, \text{ da } S = \frac{K}{D} \text{ und } D = PK^{1/3}\right)$, also prop. $K^{1/3}$ sein sollte, während die von Vierordt gefundenen „Kreislaufsdauern" in viel schwächerem Grade (prop. $K^{1/6}$) zunehmen. Es verhalten sich nämlich die relativen Zeiten der Kreislaufsdauern der fünf Thiere bei Vierordt wie 10 : 19 : 22 : 31 : 42 (S. 133), während $K^{1/3}$ sich verhält wie 11 : 15 : 20 : 40 : 72.

Ich mache auf diese Incongruenz ausdrücklich aufmerksam, glaube aber nicht, dass sie geeignet ist, die Richtigkeit unserer Annahmen zu widerlegen. Es sind gegen die Berechnung der Kreislaufsdauern aus den Daten von Infusionsversuchen schon von

---

[1] $P = K^{-1/6}$ und $S = K^{5/6}$ stimmt vollkommen mit den von Rameaux (a. a. O.) aufgestellten Formeln $n = n' \frac{\sqrt{d'}}{\sqrt{d}}$ und $v = v' \frac{d^2 \sqrt{d}}{d'^2 \sqrt{d'}}$.

vielen Seiten und neuerdings von v. Kries[1] Einwände erhoben worden, welche die Richtigkeit der gefundenen Zahlen in Frage stellen. Vierordt selbst hat diese Einwürfe schon theilweise anerkannt, aber behauptet, die relative Richtigkeit, d. h. das Verhältniss der Kreislaufsdauern der verschiedenen Thiere zu einander werde dadurch nicht berührt. Ich möchte hier aber noch einige Momente hervorheben, die in erster Linie die relative Richtigkeit beeinflussen. Vierordt legt grosses Gewicht auf sorgfältige Regulirung des Blutausflusses aus der Vene, „dass man nur so viel Blut ausfliessen lässt, als der durchschnittlichen normalen Circulation im unverletzten Gefäss entspricht", was Hering bekanntlich unterliess. Vierordt giebt als Maass beim Hunde an der Jugularis 1·5 ccm pro Secunde an (S. 61). Er stützt sich dabei auf das Ergebniss seiner Haemotachometerversuche, die aber offenbar viel zu kleine Werthe gaben in Folge des Umstandes, dass der Apparat selbst grosse Widerstände für die Blutbewegung setzte, d. h. die Blutbewegung durch das betreffende Gefäss verlangsamen musste. Die Bohrung der conischen Ansätze des Apparates und der Canülen betrug nämlich nur 2 mm, während der Durchmesser der Art. jugularis bei einem 30 kgrm schweren Hunde ca. 7 mm, bei der V. jugularis also noch mehr beträgt. Nach Vierordt's Messungen sind allerdings auch die Gefässlumina bedeutend geringer, es ist dies aber nur die nothwendige Folge der von ihm zur Gefässmessung angewandten, S. 64 beschriebenen Methode. Beim 20 kgrm schweren Hunde misst die Jugularis mindestens 0·3 □cm, 1·5 ccm pro Secunde würde also nur einer Geschwindigkeit von 5 cm pro Secunde entsprechen, während Volkmann 22·5 fand. Ebenso gering war die Geschwindigkeit, mit der Vierordt die Salzlösung in die V. jugularis injicirte: 3—6 ccm in 4 Secunden beim Hunde. Der durch diese Vornahmen auf zweifache Weise erzielte Fehler dürfte über 2 Secunden betragen, die also von den gefundenen Kreislaufsdauern der von Vierordt untersuchten Thiere abzuziehen sind, statt 6·9 Secunde beim Kaninchen ergäbe sich also höchstens 4·9 Secunden u. s. w. Ferner fesselte Vierordt seine Thiere, unterband die Vene, in die er später injicirte, d. h. band eine Canüle mit Hahn ein, während Hering das Thier vollkommen ungefesselt lies: in die nicht unterbundene Vene bei erhobenem Kopf des Thieres einen kleinen Schnitt machte, sofort die ziemlich weite Canüle senkrecht einführte, also die Flüssigkeit ohne Widerstand einfliessen liess, auch die Vene danach nicht wie Vierordt unterband, sondern bloss nähte — Hering konnte so 5-, 6 mal und öfter an verschiedenen Tagen die gleiche Vene benutzen —. Die Versuche Hering's verliefen also ohne jede venöse Stauung, während Vierordt schon vor Beginn des eigentlichen Versuchs starke venöse Stauung hatte, da er beide Jugularvenen unterband. Man müsste die Methode in der Weise abändern, dass man in möglichst kurzer aber bestimmter Zeit in die nicht unterbundene V. jugularis (oder in einen Seitenast derselben möglichst nahe dem Stamme) die Lösung injicirt und nun sowohl den Beginn als das Ende der Reaction bestimmt. Falls die Methode überhaupt brauchbar ist, muss sich wie ein scharfer Beginn ebenso auch ein scharfes Ende der Reaction und ein späteres erneutes Auftreten derselben einstellen. Mit dieser Modification fallen aber sämmtliche gegen die Methode erhobenen Einwände. Man misst dann nicht mehr die Zeit auf der kürzesten Bahn und bekommt nicht nur relativ, sondern auch absolut genaue Zahlen (besonders wenn man noch die Intensität der Reaction berücksichtigt), so dass die Bestimmung der „Kreislaufsdauer" u. s. w. also eine vollkommen exacte wird, was auf anderem Wege, z. B. durch die Methode der Stromaichung, kaum so einwandsfrei zu erzielen ist, da sich bei letzterer Methode eine Reihe anderer Fehlerquellen einstellen.

---

[1] *Beiträge zur Physiologie* u. s. w. Leipzig 1887.

Da Vierordt bei der Berechnung der in der Zeiteinheit durch den Körper circulirenden Blutmenge = PS die Systolegrössen prop. K setzte, während sie nach obiger Berechnung prop. $K^{5/6}$ sein muss, so sind die von ihm S. 137 angegebenen Zahlen für die circulirende Blutmenge pro Secunde durch $K^{1/6}$ zu dividiren.

	Blutmenge pro Zeiteinheit	$\frac{PS}{K^{2/3}}$	PSH pro Tag
Pferd	21850	41·6	15400 [1]
Mensch . . .	6580	41	4640
Hund	1730	39	1220
Böckchen . .	935	39	660
Kaninchen . .	770	62	—
	(460—540)	(37—43)	(230—250)

Die eingeklammerten Zahlen beim Kaninchen sind unter der Annahme berechnet, dass S nicht prop. $K^{5/6}$, sondern, wie es ja allein richtig ist, prop. $G^{5/6}$ ist. $\frac{PSH}{K^{2/3}}$ wird dann beim Kaninchen etwas kleiner als bei den übrigen Thieren. Die Gründe, warum gerade beim Kaninchen dieser Quotient nothwendig etwas kleiner wird, werden wir am Schlusse dieser Abhandlung betrachten.

Volkmann fand, wie schon früher erwähnt, in der Geschwindigkeit des Blutes in der Aorta keine von der Grösse der Thiere abhängigen Unterschiede. Auch dieser Umstand spricht, wie auch obige Tabelle, mit aller Entschiedenheit dafür, dass unsere Rechnung, wonach die mittlere Kreislaufsdauer einfach proportional der mittleren Länge der Blutbahn ist, richtig ist.

Es gewähren die Verhältnisse am Herzen also gute Uebereinstimmung mit der Annahme $\frac{A}{Z} = a$.[2] Die vorliegenden Daten

[1] In der von mir *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XVIII. S. 631 angegebenen Tabelle ist die Angabe des Sauerstoffverbrauchs des Pferdes etwas zu hoch ausgefallen, da der Sauerstoffverbrauch des Pferdes, im Gegensatz zu dem der anderen Thiere, nicht aus Respirationsversuchen, sondern aus der Futteraufnahme eines viel schwereren Thieres berechnet wurde, bei welch letzterem es sich noch dazu um ein Thier handelte (*Landwirthschaftliche Jahrbücher* 1879. Bd. VIII. S. 701), das täglich Arbeit leisten musste, während angenommen war, dass es sich um ein ruhendes Thier gehandelt hatte.

[2] Das Herz dürfte auch die beste, ja vielleicht einzige Gelegenheit bieten, den Verbrauch an Spannkraft pro Einheit Arbeit genau festzustellen: Es führt die Coronarvene — mit Ausnahme einer minimalen Quantität Blut, die durch sehr kleine andere Venenstämme ausmündet — sämmtliches Blut vom Herzen in den rechten Vorhof. Sie mündet an der hinteren Wand an einer Stelle, die sehr leicht bei einiger Uebung durch Tasten gefunden werden kann. Eine per Troicar oder kleinem Schnitt mit nachträglichem Einbinden in den Vorhof eingeführte Canüle wird, sobald sie gegen die Vene angepresst wird, sämmtliches durch das Herz strömende Blut nach aussen führen, wo die Menge pro Zeiteinheit, der O- und CO_2-Gehalt (event. auch der Zuckergehalt) u. s. w. bestimmt werden kann, und daraus durch Vergleich mit dem arteriellen Blute der

über P und D bei den verschiedenen Thieren stimmen, worauf es wesentlich ankommt, vollkommen mit jener Annahme überein; gegen die theilweise abweichenden „Kreislaufsdauern“ konnten eine Reihe von Fehlerquellen geltend gemacht werden, zu welchen noch der Umstand kommt, dass Vierordt auf den Ernährungszustand (Alter u. s. w.) der Thiere gar keine Rücksicht nahm. Es wäre zu wünschen, dass von physiologischer Seite die Versuche von Volkmann, Vierordt u. s. w. von Neuem vorgenommen würden, unter Berücksichtigung des Umstandes, dass man nur Thiere von gleichem Ernährungszustande mit einander vergleichen darf, was jene vollkommen vernachlässigt haben. Es würden sich dann die Gesetze der Stromgeschwindigkeiten u. s. w. höchst wahrscheinlich mit einer Schärfe und Exactheit ergeben, wie man sie auf anderen Gebieten noch sehr vermisst.

Ich nehme also $\frac{A}{Z} = a$ als bewiesen an, d. h. ich nehme als bewiesen an, dass bei maximaler Contraction (also maximaler Anstrengung) die Einheit der Muskelmasse bei grossen wie kleinen Thieren stets gleich grosse Arbeit leistet und dass sie ebenso bei mittlerem Muskelreize die gleiche mittlere Arbeit leistet u. s. w. Ich werde nun daraus die Nothwendigkeit der Formel $W = aK^{2/3}$ für Thiere von ähnlichem Körperbau ableiten. Wählt man als Einheit der Muskelmasse eine beliebige Längsfaser (Z) und bezeichnet deren Arbeit bei einer Contraction (A) mit Mv^2, wobei also M die halbe Masse bezeichnet, welche die Längsfaser zu bewegen hat, so ist $v = \sqrt{\frac{aZ}{M}}$ und da die Zeit (T), welche die Längsfaser zur Contraction braucht, proportional ist dem Quotienten $\frac{L}{v}$ (wenn L = der Länge des Weges, welchen die Masse M während der Zeit der Contraction zurücklegt), so ist also $T = \frac{L}{v} = \frac{L\sqrt{M}}{\sqrt{aZ}}$. Die Masse M, welche die Längsfaser zu bewegen hat, ist offenbar umgekehrt proportional der Zahl (ζ) der Längsfasern, welche im Muskel neben einander liegen, d. h. M ist gleich $\frac{K}{\zeta}$, wenn K die Masse bezeichnet, welche die ganze thätige Muskelmasse zu bewegen hat. Also $T = \frac{L\sqrt{K}}{\sqrt{aZ\zeta}}$. Die mögliche Zahl der Contractionen in der Zeiteinheit hängt also direct ab vom Verhältniss $Z\zeta$ (= Muskelmasse) : K (Körpermasse), und

O- und Calorienverbrauch bestimmt werden kann. Man hat hierbei den Vortheil, einen reinen Muskel ohne Haut und Knochen, dessen gleichzeitige Arbeit man ebenfalls leicht, wenigstens annähernd genau bestimmen kann, bei physiologisch-normaler Innervation und überhaupt unter vollkommen physiologischen Bedingungen untersuchen zu können, Vortheile, die bei der künstlichen Durchströmung von Extremitäten u. s. w. vollständig wegfallen. Leider war es mir bis jetzt noch nicht möglich, die Untersuchung zu beginnen, und muss ich mir dieselbe noch auf später versparen.

zwar geht sie direct proportional der Wurzel aus diesem Verhältniss, sie ist $= \frac{1}{T} = \frac{\sqrt{aZ\zeta}}{L\sqrt{K}}$, die Arbeit der Muskelmasse in der Zeiteinheit also $= \frac{aZ\zeta\sqrt{aZ\zeta}}{L\sqrt{K}}$ bei ähnlichem Körperbau also $= \frac{\sqrt{K^3}}{K^{1/3}\sqrt{K}} = K^{2/3}$, das heisst also: bei verschieden grossen, aber ähnlich gebauten Thieren geht bei gleicher Anstrengung die *cet. par.* in der Zeiteinheit geleistete Arbeit und damit auch der durch die Arbeit bedingte Verbrauch an Spannkraft proportional $K^{2/3}$.

Dasselbe gilt nun auch, wenn es sich nicht nur um eine einfache Muskelzuckung, sondern um eine tetanusartige Contraction als Folge zahlreicher hintereinander folgender Muskelreize handelt, wie es wohl bei den meisten unserer Bewegungen der Fall ist. Selbstverständliche Voraussetzung ist hierbei nur, dass bei homologen Bewegungen der zweite, dritte, hundertste u. s. w. Reiz, sowohl bei kleinem wie grossem Thiere die Muskelmasse immer in demselben Zustande d. h. dem gleichen Grade von Contraction trifft. Dies müssen wir aber schon aus anderen Gründen nothwendig annehmen, denn nur unter dieser Voraussetzung erlangt die Gesammtbewegung des betreffenden Gliedes beim kleinen Thier dieselbe relative Exactheit und Sicherheit wie beim grossen Thiere, im anderen Falle würde sie gegenüber der entsprechenden Bewegung des grösseren Thieres nothwendig zitternd und vibrirend erscheinen. Hängt aber das Intervall zweier Umsetzungen in der Muskelsubstanz *cet. par.* bei verschiedenen Thieren von der Raschheit der Contraction ab (was experimentell durch das Mikrophon leicht festzustellen wäre), so muss auch bei tetanusartigen homologen Bewegungen die in der Zeiteinheit von der Muskeleinheit geleistete Arbeit proportional $K^{-1/3}$ gehen; die Gesammtarbeit und der Gesammtumsatz also proportional $K^{2/3}$. Eine weitere nothwendige Folge obiger Voraussetzung ist, dass bei homologen Bewegungen die Endgeschwindigkeit nahezu gleichgross wird.

Die um $\frac{1}{T}$ grössere Zahl von Contractionen in der Zeiteinheit beim kleineren Thier setzt aber auch eine um $\frac{1}{T}$ raschere Blutcirculation als nothwendige Bedingung voraus. Denn nur dann, wenn der Sauerstoff, der in der Zeiteinheit verbraucht wird, in der Zeiteinheit auch wieder gleichmässig ersetzt wird, ist ein Arbeiten unter gleichen Bedingungen für die Muskeltheilchen verschieden grosser Thiere gegeben. Dazu ist nothwendig, dass die durch die Muskelmasse bei verschieden grossen Thieren circulirende Blutmenge *cet. par.* proportional dem Verbrauche steigt, denn nur dann bleibt die Differenz des Sauerstoffdruckes zwischen Gefäss und Parenchym, von welcher die Grösse der Sauerstoffzufuhr zu den Geweben in erster Linie abhängt, bei allen Thieren die gleiche. Das Maximum der mög-

lichen Arbeitsleistung wird also erreicht werden, wenn die in der Zeiteinheit durch die Einheit Muskelmasse circulirende Blutmenge proportional geht $\frac{1}{T}$, die durch die ganze thätige Muskelmasse circulirende Blutmenge also proportional $\frac{aZ\zeta}{T} = K^{2/3}$, eine noch raschere Circulation aber würde nutzlose Kraftverschwendung sein.

Der Umsatz im Nervensystem und im Knochensystem muss *cet. par.* ebenfalls proportional gehen der Zahl der Einzelbewegungen in der Zeiteinheit mal der Masse der thätigen Nervenzellen u. s. w., also bei verschiedengrossen Thieren ebenfalls proportional $K^{2/3}$. Die Thätigkeit der inneren sogenannten vegetativen Organe, welche lediglich die Aufgabe haben die Nährstoffe aufzunehmen, vorzubereiten, oder die Zersetzungsproducte auszuscheiden, muss proportional gehen der Masse der Nährstoffe, die der Körper verbraucht, und wenn der Umsatz in diesen Organen proportional geht der Höhe ihrer Thätigkeit, so wird auch er sich nothwendig verhalten wie $K^{2/3}$. Es geht also der Umsatz des ganzen Körpers, wenn er dem Bedürfniss möglichst angepasst sein soll, proportional $K^{2/3}$.

Wir fanden beim Muskel, dass die Arbeit verschieden grosser Thiere proportional geht $K^{2/3}$, welcher Grösse auch die mittlere Sauerstoffzufuhr proportional ist (s. früher), so dass also die Arbeit der Muskeln verschieden grosser Thiere der mittleren Sauerstoffzufuhr proportional ist;[1] es ist mehr als bloss wahrscheinlich, dass dasselbe Princip für sämmtliche Zellen des

[1] Das Gefühl des Kraftaufwandes, bez. der folgenden Ermüdung wird bei verschieden grossen Thieren mit gleich geübter Musculatur offenbar gleich sein, wenn das Verhältniss von dem durch die Arbeit bedingten Sauerstoffverbrauch zu der zur Verfügung stehenden Sauerstoffmenge das gleiche ist, d. h. wenn die Arbeit der Thiere in der Zeiteinheit sich verhält wie $\frac{az\zeta\sqrt{az\zeta}}{L\sqrt{K}} = \frac{az\zeta}{T}$. Es ist alsdann (siehe vorige Seite) die Zahl der in der Zeiteinheit ausgeführten Bewegungen $= \frac{1}{T} = \frac{1}{L} \cdot \sqrt{\frac{\alpha z\zeta}{K}}$. Hieraus ergiebt sich $\frac{L}{T} = v = \sqrt{\frac{az\zeta}{K}}$, d. h. bei subjectiv gleichem Kraftaufwand ist die erlangte Schnelligkeit bei ähnlich gebauten Thieren (mit den S. 344 gemachten Einschränkungen) unabhängig von der Länge der Extremitäten, bez. der Körpergrösse und allein abhängig von dem Verhältniss, das zwischen der Muskelmasse und dem Körpergewicht besteht. Die Zahl der Schritte in der Zeiteinheit aber geht bei procentisch gleicher Muskelmasse umgekehrt proportional der Länge des Körpers, bei gleicher Körperlänge prop. v. Das Verhältniss der Kräfte, d. h. der Werth von γ in der Formel $\delta = \sqrt{\frac{\alpha\beta}{\gamma}}$ ist hiebei $= \frac{az\zeta}{L}$, die Arbeit und der Spannkraftverbrauch aber $= \frac{\gamma a}{\varepsilon} = \frac{a z\zeta}{T}$. Dies zur Ergänzung der S. 346 unten gemachten Ausführungen.

Thierkörpers[1] gilt, d. h. dass auch z. B. die Thätigkeit des Nierenepithels, der Leberzellen u. s. w. in der Zeitenheit lediglich von der Raschheit der Blutcirculation abhängt (s. Heidenhain, Hermann's *Handb. d. Physiol.* Bd. V. S. 263 und 331), dass also auf die Einheit Sauerstoff bezogen ihre Thätigkeit bei allen Säugethieren gleich gross ist.[2] Die Grösse dieser Organe wird also proportional gehen der Grösse: Umsatz dividirt durch $T^{-1} = K^{2/3} . K^{1/3} = K$, d. h. wenn der Umsatz der Muskelmasse K eines Thieres in Folge einer um $K^{1/3}$ rascheren Blutcirculation proportional $K^{2/3}$ geht, wird auch der Umsatz der übrigen Organe *cet. par.* proportional $K^{2/3}$ gehen, ihr Gewicht aber proportional K, d. h. das Gewichtsverhältniss der einzelnen Organe zu einander wird ungeändert bleiben, wenn der Umsatz bei verschieden grossen Thieren, um eine maximale Arbeitsfähigkeit derselben zu erzielen, proportional $K^{2/3}$ geht.

Wir gingen anfangs (S. 333) aus von der thatsächlichen Aehnlichkeit des Baues verschieden grosser Thiere und fanden, dass diese Aehnlichkeit nur erhalten bleiben kann, wenn der Umsatz proportional $K^{2/3}$ geht und dass hierbei zugleich die maximale Arbeitsfähigkeit erreicht wird. Bei der zweiten Ueberlegung gingen wir aus von dem Postulate der möglichst grossen Arbeitsfähigkeit, fanden dass der Umsatz alsdann proportional $K^{2/3}$ gehen müsse und dass das relative Gewichtsverhältniss der Organe dabei ungeändert bleibe. Es ergänzen sich also die beiden Ausführungen gegenseitig. Den Grund für das Steigen des Umsatzes der verschiedenen Arten proportional $K^{2/3}$ bildet also das gleiche Darwin'sche Princip, dessen Gültigkeit für den Einzelkörper ich schon früher nachgewiesen habe: Die Organisation des Thierkörpers bezweckt eine möglichst grosse Leistungsfähigkeit bei möglichst kleinem Verbrauche.

---

e) Wenn damit der Grund für obige Erscheinung nachgewiesen ist, so fragt es sich weiter: Durch welche Mittel erreicht die Natur diesen Zweck?

Die Wissenschaft begnügt sich nicht mit dem Nachweis des Zweckes einer Erscheinung, sondern sie verlangt in erster Linie die direct treibenden Ursachen der betreffenden Erscheinung zu sehen; in unserem Falle ist also die Frage vor allem zu beantworten: Welche Einflüsse wirken auf die thierische Zelle derart ein, dass der Umsatz in derselben auch bei

[1] Deren Grösse u. s. w. ja ebenfalls bei verschiedenen Thieren unabhängig von der Körpergrösse des Thieres ist.

[2] Was entschieden für eine gleichartige Organisation der Zellen bei allen Säugethieren sprechen muss.

voller Körperruhe proportional $K^{2/3}$ geht. Dass der Umsatz bei gleichmässiger Arbeit proportional $K^{2/3}$ geht, erklärt sich ja allerdings vollkommen schon aus dem Umstande, dass die Zeit für eine Contraction proportional $\frac{L\sqrt{K}}{\sqrt{a z \zeta}} = K^{1/3}$ geht, dass also die Zahl der vom Nervensystem ausgehenden Erregungen proportional geht $K^{-1/3}$. Es ist weiter klar, der Umsatz bei völliger Körperruhe muss in einem bestimmten gleichen Verhältniss stehen zum mittleren Umsatz überhaupt, resp. zum Umsatz bei mittlerer oder maximaler Arbeitsleistung. Da die Zelle stets in der Lage sein muss, sofort eine maximale Arbeit leisten zu können, wird auch ihr Umsatz während der Ruhe (pro Zeiteinheit) wachsen mit der Grösse des Umsatzes (pro Zeiteinheit), dessen sie bei maximaler Arbeitsleistung fähig sein soll. Es bildet erstere gewissermaassen die Friedenspraesenzstärke, von deren Höhe die Kriegspraesenzstärke, d. h. der Umsatz bei maximaler Arbeit und damit die Höhe der letzteren selbst direct abhängig ist. Durch welche Einrichtung des Thierkörpers wird nun die Einstellung des Umsatzes bei Ruhe auf $K^{2/3}$ erreicht?

Die Annahme, dass die Zellen selber bei verschieden grossen Thieren derart organisirt seien, dass sie in der Zeiteinheit verschieden grosse Mengen Spannkräfte zersetzen, würde, da sie eine Unbekannte nur durch eine andere ersetzt, erst erlaubt sein, wenn jede andere Möglichkeit der Erklärung absolut ausgeschlossen wäre. Die Muskelzellen stehen nun, wie erwiesen, auch bei völliger Körperruhe noch unter dem Einflusse einer vom Nervensystem ausgehenden Erregung (Tonus). Man könnte sich also denken, dass, ebenso wie bei Arbeit die Zahl der Nervenerregungen proportional geht $K^{-1/3}$, in gleicher Weise auch bei Körperruhe die Zahl (oder Intensität) der vom Nervensystem auf den Muskel ausgeübten Erregungen proportional $K^{-1/3}$ gehe, und dass dadurch bewirkt werde, dass der Gesammtumsatz proportional geht $K^{2/3}$. Absolut nothwendig zur Erklärung des letzteren Umstandes scheint mir aber obige Annahme nicht zu sein. Man könnte sich auch denken, dass lediglich von der verschiedenen Sauerstoff- und CO_2-Spannung innerhalb der Gewebe bei verschieden grossen Thieren der verschiedene Umsatz pro Kilo bedingt werde. Durch die Gewichtseinheit der Gewebe strömt bei kleinen Thieren eine proportional $K^{-1/3}$ grössere Sauerstoffmenge, bei gleichem Verbrauche müsste also die Sauerstoffspannung im Gewebe der kleineren Thiere wachsen (CO_2-Spannung abnehmen). Wenn nun eine grössere Sauerstoffspannung *cet. par.* (bei gleichem Innervationszustande u. s. w.) einen grösseren Sauerstoffverbrauch bedingt, so wird der Sauerstoffverbrauch beim kleineren Thier wachsen müssen, bis die Sauerstoffspannung wieder die gleiche wie beim grossen Thier ist, d. h. bis auch der Umsatz pro Gewichtseinheit proportional $K^{-1/3}$

geht. Dass die O- (u. CO_2-) Spannung aber den Sauerstoffverbrauch direct beeinflusst, das dürfte wohl endgültig feststehen. Heidenhain hat gezeigt, dass die Thätigkeit der Nieren- und Leberzellen proportional der in der Zeiteinheit durch die Gewebe strömenden Blutmenge zunimmt; dass mit Abnahme der strömenden Blutmenge der O-Verbrauch sinkt, geht ferner aus den Untersuchungen Bauer's hervor; das Gleiche zeigen in Bezug auf die Wirkung der Abnahme der O-Spannung und Zunahme der CO_2-Spannung die Untersuchungen Friedländer's und Hertel's. Die schlagendsten Beweise für die Wirkung der Abnahme der O-Spannung hat Paul Bert gegeben, dessen zahlreiche Versuche bisher unwiderlegt geblieben sind, und aus denen sich ein rasches Absinken des O-Verbrauchs mit der Abnahme der O-Spannung berechnet. Die Versuche Finkler's,[1] welche die Unabhängigkeit des Sauerstoffverbrauches vom Sauerstoffdrucke zeigen sollen, würden, ihre Richtigkeit vorausgesetzt, obigen Ausführungen nicht direct widersprechen, sondern nur beweisen, dass direct nach dem Aderlass der Zustand des Zellprotoplasma's unter dem Einfluss des relativen Sauerstoffmangels sich nicht so plötzlich und rasch ändert, dass der O-Verbrauch sofort messbar erniedrigt wird, sie würden nur beweisen, dass hierzu eine etwas längere Zeit gehört. Ich habe diesen Beweis lange Zeit für gegeben erachtet, bis ich durch eine Nachberechnung der Finkler'schen Resultate nun anderer Meinung geworden bin.

In seiner ersten Veröffentlichung (a. a. O.) berechnen sich die Zahlen für den Sauerstoffverbrauch (S. 18) auf 0·73; 0·85; 1·40; 1·51, zeigen also starkes Steigen des O-Verbrauchs unter dem Einfluss der Blutentziehungen; wie Finkler die grosse Gleichmässigkeit des O-Verbrauchs: 1·18 — 1·05 — 1·24 — 1·05 herausrechnen konnte, bleibt mir ein Räthsel. Dasselbe Steigen ergiebt sich aber auch bei richtiger Rechnung aus seiner zweiten Berechnung und Veröffentlichung (Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XIV). Hier sind die Strömungsgeschwindigkeiten durchaus falsch angegeben; es ist nicht richtig, dass z. B das Blut des Hundes IV bei der ersten (u. s. w.) Blutentziehung unter dem Einfluss einer Strömungsverlangsamung stand, die durch eine Blutentziehung von 0·76 Procent (u. s. w.) des Körpergewichts hervorgerufen war. Es war vielmehr zur Zeit, als 0·76 Procent Blut, um untersucht zu werden, aus dem rechten Herzen entnommen wurden, noch gar keine Blutentziehung vorausgegangen. Da sich nun im Körper eine grössere Blutmenge im Venensystem als im Arteriensystem findet, so hatte, wenn die Blutentnahme aus dem rechten Herzen nur einigermaassen rasch ging, sämmtliches entnommenes Blut zur Zeit des Beginns der Blutentziehung die Capillaren bereits passirt, stand also noch nicht unter dem Einfluss der Strömungsverlangsamung, die erst durch diese Blutentziehung selbst hervorgerufen wurde. Selbst wenn die Blutentziehung aus dem rechten Herzen nur äusserst langsam stattfand, was ganz unwahrscheinlich ist, dürfte als wirksame Blutentziehung (Zeit der Blutentziehung = unendlich) nur die Hälfte in Rechnung kommen, wie es auch Finkler selber in seiner

[1] *Ueber den Einfluss der Stromgeschwindigkeit des Blutes* u. s. w. Dissertation. Bonn 1875.

ersten Berechnung begründet und ausführt. Nehmen wir dieses Minimum einmal als gegeben an, so werden die Zahlen des O-Verbrauchs beim Hunde IV 1·12; 0·98: 1·71; 1·60 (also starkes Steigen!), beim Hunde V 0·39; 0·88; 1·59; 1·75!, beim Hunde VI 1·32; 1·36; 1·42. Nehmen wir aber den ersteren, der Wirklichkeit näher stehenden Fall an, so finden wir ein Steigen des O-Verbrauchs beim Hunde IV von 1·1 auf 1·9; beim Hunde V von 0·4 auf 1·9; beim Hunde VI von 1·3 auf 1·6.[1] Der einzig mögliche Schluss wäre also: wenn weniger Sauerstoff durch den Körperquerschnitt strömt, die Sauerstoffspannung sinkt, so wird absolut mehr (bis 5 mal mehr) Sauerstoff verbraucht. Dies klingt aber so absurd, dass es wohl erlaubt sein wird, die Richtigkeit der Praemissen zu bezweifeln. Der Beweis, „dass selbst ein bedeutender Aderlass keinen Einfluss auf die Menge des O-Verbrauchs hat", ist damit keinesfalls gegeben. Finkler findet nun bei Hund V auch eine Steigerung des O-Verbrauchs, und zwar von 4 auf 16, da er aber dabei zugleich ein Fallen der CO_2-Ausscheidung von 17 auf 8 (!) fand, so erklärt er beides als verursacht durch eine „physiologische Oscillation des Quotienten $\frac{O}{CO_2}$ um die Norm", die sich dabei, *nota bene* im Verlauf von drei bis vier Stunden, denn so lange dauerten die Versuche, vollzieht! Was soll nun die Ursache und das Wesen einer „Oscillation des Quotienten" $\frac{O}{CO_2}$ von $\frac{4}{17} = 0 \cdot 2$ auf $\frac{16}{8} = 2 \cdot 0$ sein? Wenn derartige stundenlang dauernde Schwankungen in der O-Aufnahme um das 4- oder 5 fache *ceteris paribus* normal möglich wäre, dann würde damit Finkler's ganze Arbeit *eo ipso* und ebenso jede ähnliche (z. B. Bestimmung der O-Aufnahme durch die Respiration während einiger Stunden u. s. w.) alle Beweiskraft verlieren. Ich glaube, dass es nicht nöthig ist, auf weitere Einzelheiten aus Finkler's Arbeit einzugehen, um nachzuweisen, dass sie nicht geeignet ist, das, was sie möchte, zu beweisen.[2]

---

[1] Wahrscheinlich war bei den Stromaichungsversuchen schon durch die Fesselung des Thieres die Stromgeschwindigkeit im Femoralgebiet hochgradig verlangsamt, so dass bei Eintritt der Blutentziehung keine entsprechende Verlangsamung mehr stattfand; es ist übrigens schon an sich nicht ganz richtig, aus der Geschwindigkeit der Blutströmung in einem ganz beschränkten Gebiete auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Gesammtkörper zu schliessen, da die Annahme, dass bei Blutentziehungen die Schnelligkeit der Blutcirculation in allen Organen in gleichem Grade abnehme, ohne alle Stütze dasteht.

[2] Damit wäre der Eine der experimentellen Beweise für die Theorie, dass der Sauerstoff nicht die directe Ursache für die Zersetzung ist, hinfällig geworden (richtig ist der Satz übrigens nur, wenn man sagt, dass der Sauerstoff nicht die einzige oder die Hauptursache der Zersetzung ist); was den anderen von Voit (Hermann's *Handbuch der Physiologie*. Bd. VI. S. 118 u. 282) angeführten Beweis betrifft: das Schwanken der O-Aufnahme bei verschiedenartiger Ernährung, so ist bekanntlich auch dieser Beweis unrichtig, da ich nachgewiesen habe (Virchow's *Archiv*. Bd. LXXXIX. S. 333), dass die Schwankungen der Sauerstoffaufnahme nicht von der verschiedenen Art der Nahrung, sondern durch den ganz verschiedenen Ernährungszustand des Thieres bedingt waren. Die Theorie selbst verliert durch den Hinfall ihrer beiden directen experimentellen Beweise nicht ihre Stützen. Denn die Sicherheit für die Wahrheit irgend einer Theorie liegt niemals in einzelnen experimentellen Beweisen, sondern sie liegt ganz und gar in der Theorie selbst, d. h. erstens in der allgemeineren Anwendbarkeit und zweitens der grösseren Einfachheit derselben gegenüber anderen Theorien. Der wichtigste Beweis

Ich halte es für zweifellos, dass ein Forscher, der mit exacteren Methoden die Versuche Finkler's wiederholt, finden wird, dass schon sehr bald nach der Blutentziehung eine leichte Herabsetzung des O-Verbrauches eintritt. Die Versuche Kronecker's und Anderer mit theilweisem Ersatz des Blutes durch Cl Na-Lösung, bei welchen trotz hochgradiger Verdünnung des Blutes ein Fortleben der Thiere statt hatte, sind gar nicht anders zu erklären, als durch die Annahme, dass der Herabsetzung der O-Spannung sehr rasch eine leichte Abnahme des O-Verbrauchs nachfolgt, wenn ich auch nicht so weit gehe, den von v. Ott[1] mitgetheilten Versuch, der ein momentanes Absinken des O-Verbrauches auf mehr als $^1/_5$ der früheren Höhe beweisen würde, für richtig zu halten.

Dagegen, dass eine so rasche Anpassung der Zelle an verminderte O-Spannung, wie der v. Ott'sche Versuch voraussetzen würde, möglich ist, spricht bekanntlich eine Reihe anderer Erfahrungen. Dass auch beim Menschen eine starke Abnahme der O-Circulation eine starke Abnahme des O-Verbrauches nach sich zieht, beweisen eine Reihe vollkommen sicher stehender Beobachtungen über Abnahme des Haemoglobingehaltes bei Anaemien, bei welchen der Haemoglobingehalt bis auf 2 Procent, selbst 1·5 Procent abnahm, und doch das Leben fortdauerte,[2] ohne das der Puls besonders rasch wurde (100 pro Minute). Es wird auch die Erklärung einer Reihe hier nicht besprochener Erscheinungen (z. B. der geringe O-Verbrauch im

---

für irgend eine Theorie ist immer negativer Art und besteht im Nachweis, dass sie mit keiner bekannten Erscheinung in Widerspruch tritt. Wenn für irgend eine Theorie hunderte von experimentellen Beweisen bereits vorliegen, und es taucht eine zweite Theorie auf, nach welcher eine Reihe von Widersprüchen wegfällt, welche bei der ersten Theorie noch unerklärt blieben, so ist diese Thatsache allein schon der Beweis für die grössere Richtigkeit der zweiten Theorie. Und wenn einer seit Jahrhunderten bestehenden Theorie eine zweite entgegentritt, welche die gleichen Erscheinungen lediglich auf einfachere Weise erklärt, so ist die zweite Theorie sofort als die richtigere anzusehen, ohne dass sie dazu weiterer Beweise bedürfte. Das Copernicanische System ist nicht deshalb als das richtige allgemein acceptirt worden, weil das frühere System als falsch oder unmöglich bewiesen wurde, das ist durchaus nicht der Fall, sondern allein deshalb, weil es in einfacherer und klarerer Weise die Erscheinungen erklärte, als das frühere System. Bei allen unseren wissenschaftlichen Theorien handelt es sich ja niemals um absolute Wahrheiten, sondern lediglich um Formeln, mit Hülfe deren wir uns die Erscheinungen am besten ordnen und fassbar machen können, und es hat diejenige Formel das Recht, welche die allgemeinere und einfachere ist. Durch die experimentellen Versuche vermehren wir künstlich die Zahl und Verschiedenartigkeit der Erscheinungen und engen so das Feld der möglichen Theorien ein, darin liegt der grosse Werth und die Unentbehrlichkeit der experimentellen Versuche, nicht darin, dass sie an sich direct eine Wahrheit beweisen.

[1] *Dies Archiv.* 1882. S. 420.

[2] Siehe z. B. Laache, *Die Anaemie.* Christiania 1883.

Foetalleben) sehr viel einfacher, wenn man annimmt, dass es sich mit dem Einflusse der O-Zufuhr zu den Geweben (der Menge des in der Zeiteinheit verfügbaren Sauerstoffs s. Zeitschr. f. *Biologie* Bd. XVIII, S. 641) auf den Sauerstoffverbrauch in den Geweben ähnlich verhalte, wie mit dem Einfluss der Nahrungszufuhr auf den Nahrungsverbrauch. Ich habe nachgewiesen, dass momentane einmalige Aenderung der Nahrungszufuhr gleichviel welcher Art nur kleine und erst allmählich eintretende Aenderungen im Umsatze nach sich zieht, und dass die bisher als Stützen einer gegentheiligen Theorie angeführten Ergebnisse der Respirationsversuche von Pettenkofer und Voit in vollkommenen Einklang mit dieser Theorie stehen.[1] Es ist andererseits klar, dass der mittlere Umsatz vollständig abhängt von der mittleren Nahrungszufuhr. Ich habe daraus geschlossen, dass Aenderungen der Nahrungszufuhr nur sehr langsam Aenderungen im normalen Zustande des lebenden Protoplasma's der Säugethiere nach sich ziehen. Das gleiche gilt nun offenbar auch von den Aenderungen der Sauerstoffspannung; auch diese ziehen nur langsam — wenn auch rascher als die Aenderungen der Nahrungszufuhr — Aenderungen des lebenden Protoplasma's nach sich, aber der mittlere Sauerstoffverbrauch hängt auch hier, wenn man alle Erscheinungen in Rechnung zieht, bei gleichen sonstigen Verhältnissen offenbar ganz von der mittleren Sauerstoffspannung, resp. da die Sauerstoffspannung im lebenden Protoplasma, wie Pflüger gefunden hat, nahezu gleich Null ist, da eben der zugeführte Sauerstoff sofort verbraucht wird, von der Höhe der pro Zeiteinheit den Geweben zugeführten Oxyhaemoglobin- resp. Sauerstoffmenge ab.

Es steht also, so viel ich sehe, der Annahme nichts entgegen, dass lediglich die verschiedene Grösse der in der Zeiteinheit durch die Einheit Körpermasse circulirenden Blut- resp. O-Menge die Ursache des (pro Kilo) verschieden grossen Umsatzes verschiedener Thiere auch bei Körperruhe bildet. Die Sauerstoffaufnahme hängt allerdings lediglich ab vom Sauerstoffverbrauch, aber letzterer hängt eben *cet. par.* ab von der Sauerstoff- (CO_2-) Spannung, so dass also auch die Sauerstoffaufnahme von der Sauerstoffspannung im Gewebe abhängt. Bis zu welchem Grade die Abhängigkeit geht, kann aber nur durch eigens darauf hin angestellte Experimente entschieden werden. Ich beabsichtige, sobald ich hierzu Zeit und Mittel gewinne, kleinere Hunde unter verschiedenem Atmosphaerendruck zu ernähren, was sehr leicht auszuführen ist, dadurch dass man durch hermetisch geschlossene Kästen (die Ställe) mit Hülfe von fallendem Wasser Luft saugt, die vor dem Ein-

---

[1] Virchow's *Archiv.* Bd. LXXXIX. S. 333.

tritt in den Käfig eine beliebig hohe Quecksilbersäule zu heben hat. Man wird so während beliebig langer Zeit die Thiere bei beliebig niederem Sauerstoffdrucke halten können. Es wird sich vielleicht der Haemoglobingehalt des Blutes dabei etwas ändern, die Blutgeschwindigkeit vielleicht etwas wachsen, diese Veränderungen können aber nicht sehr gross sein, und man wird mit ziemlicher Sicherheit berechnen können, ob der Sauerstoffverbrauch in der That, wie ich annehme, proportional geht der Menge des verfügbaren Sauerstoffs, oder eine andere Function letzterer Grösse bildet. Der Versuch ist nothwendig zur Lösung einer Reihe von Fragen der Pathologie, die bei Betrachtung der Wachsthums- und Stoffwechselverhältnisse u. s. w. bei gestörter Blutcirculation und gestörter Athmung u. s. w. auftreten.

---

f) Um also kurz zu wiederholen: Es ist in der Organisation des Thierkörpers begründet, dass bei verschiedener Thiergrösse die Functionsgrössen von Herz, Darm, Lunge u. s. w. nicht proportional K, sondern proportional $K^{2/3}$ wachsen; proportional letzterer Grösse wächst zugleich bei in der Ebene lebenden Thieren das durch den Kampf um's Dasein bedingte Bedürfniss, und ebenso wächst proportional derselben der bei horizontaler Fortbewegung in der Zeiteinheit überhaupt mögliche Umsatz, wenn man gleichartige Organisation der Muskelsubstanz bei allen Säugethieren voraussetzt, für welche Annahme man directe Beweise durch Vergleichung der Herzarbeit mit der Herzgrösse geben kann. Direct bestimmend auf die Höhe des mittleren Umsatzes, gleichviel ob bei Ruhe oder Arbeit, kann nur der erste und letzte Umstand wirken, d. h. die in der Zeiteinheit den Körperzellen zur Verfügung stehende Menge von Spannkraft haltendem Nährmaterial und Sauerstoff, und die Intensität und Zahl der auf die Einheit Muskelmasse u. s. w. übertragenen Nervenreize.

Während die Wirkung der mittleren Nahrungsmenge auf den mittleren Umsatz schon *a priori* als nothwendig klar ist und experimentell vollständig gestützt ist, lässt sich der gleiche directe Einfluss der Grösse der pro Zeiteinheit durch die Gewebe strömenden mittleren Sauerstoffmenge auf den Sauerstoffverbrauch durch die bis jetzt vorliegenden Versuche noch nicht endgültig nachweisen. Der Einfluss der Nahrung kann aber wohl den verschieden grossen Umsatz des gleichen Thieres bei verschiedenem Ernährungszustande, nicht aber den pro Kilo verschiedenen Umsatz verschieden grosser Thiere bei gleichem und gutem Ernährungszustande erklären. Die Erklärung des letzten Umstandes müssen wir also entweder allein in dem Einfluss der verschieden grossen Blut- und Sauerstoffzufuhr zu den Geweben suchen, oder wir müssen annehmen, dass dabei ausser-

dem auch noch ein pro Zeiteinheit verschieden grosser vom Nervensystem ausgehender Einfluss mit in's Spiel kommt, resp. dass durch den Einfluss der verschiedenen O-Spannung und der verschiedenen Innervationsgrösse[1] ein gewisser trophischer Zustand der Körperzellen (Muskelzellen u. s. w.) bei bestimmter Ernährung bedingt wird, der dann die Ursache des verschiedenen Umsatzes bei voller Ruhe (auch bei Curarelähmung, bei vollständigem Sauerstoffmangel u. s. w.) ist.

Bestimmung der Constante a in der Formel $W = aK^{2/3}$. Einfluss verschiedener Umstände auf die Grösse von a.

g) Es bleibt noch übrig, die Grösse der Constanten a in der Formel $W = aK^{2/3}$ festzustellen. Zuvor muss aber noch untersucht werden, in wie weit a wirklich constant ist, d. h. von welchen Bedingungen ein etwaiges Schwanken abhängt.

Einmal hängt die Grösse der Constanten a natürlich davon ab, ob man die einzelnen Thiere bei völliger Ruhe oder mittlerer oder maximaler Arbeit, ob man sie nüchtern oder nach reichlicher Nahrungszufuhr, bei warmer oder kalter Aussentemperatur, in gesundem oder krankem Zustande u. s. w. mit einander vergleicht. Da je nach der Grösse des Thieres, dem Alter und der Menge des von ihm angesetzten Fettes die Schnelligkeit mit der sich der Ernährungszustand und der Umsatz der Thiere beim Hunger ändert, sehr verschieden ist, wird man, wenn man verschiedene Thiere betreffs der Höhe ihres Umsatzes mit einander vergleichen will, dieser Vergleichung nur den Umsatz bei normaler Ernährung, nicht aber den bei gleich langem Hungerzustand zu Grunde legen dürfen. Ebenso ist es falsch, den Umsatz verschiedener Thiere bei beliebiger aber gleicher Aussentemperatur zu vergleichen. Es muss vielmehr der Umsatz jedes Thieres bei denjenigen äusseren Temperaturverhältnissen bestimmt werden, unter welchen das Thier schon seit längerer Zeit gelebt und denen es sich in Folge dessen angepasst hat. Da die Höhe der Arbeit, die ein Thier leistet, mit den gegenwärtigen Methoden nicht zu bestimmen ist, wird man einer etwaigen Vergleichung am besten den Umsatz bei Körperruhe zu Grunde legen. Richtiger wäre allerdings, wenn man deu mittleren Verbrauch bei

---

[1] Da die Zahl der gesammten sensiblen Nervenendigungen (Gesicht, Gehör, Gefühl u. s. w.) im Allgemeinen ebenfalls prop. $K^{2/3}$ geht, so geht offenbar die Gesammtmenge und Gesammtintensität der das Centralnervensystem treffenden Reize im Allgemeinen pro Zeiteinheit auch prop. $K^{2/3}$.

der gewohnten Lebensweise bestimmen würde. Abgesehen von diesen rasch wirkenden Einflüssen, giebt es aber noch andere Umstände, welche Einfluss auf die Grösse von a gewinnen, trotz vollkommen gleicher äusserer Bedingungen.

Wir fanden den Umsatz W verschiedener Thiere bei gleichen äusseren Bedingungen proportional $\frac{\sqrt{(a'Z\zeta)^3}}{K^{5/6}}$, wobei a' die Höhe der mittleren Arbeit bezeichnet, welche die Einheit Muskelmasse bei jeder Contraction leistet. Dies a' wurde bei Säugethieren verschiedener Grösse als constant vorausgesetzt. Dies schliesst jedoch nicht aus, dass bei einem und demselben Thier a' unter verschiedenen Umständen verschiedenen Werth besitzt. Vergleicht man den Umsatz verschiedener Thiere, während dieselben Arbeit leisten, so hängt a' offenbar direct von der Höhe der mittleren Anstrengung, d. h. von der mittleren Höhe der Nervenreize ab, welche während der Arbeit die Musculatur treffen. Wenn aber die mittlere (physiologische) Höhe der Nervenreize auch unabhängig von der Grösse der Thiere ist, so kann sie beim einzelnen Thier doch abhängen von verschiedenen Verhältnissen, die das Leben der Thiere beeinflussen, sie wird sich z. B. ändern unter pathologischen Verhältnissen, und als ein pathologisches Verhältniss kann man wenigstens beim Thiere dasjenige Verhältniss bezeichnen, bei welchem ein Thier genügende und selbst reichliche Nahrung erhält, ohne irgend welche Arbeit dabei leisten zu müssen, bezw. ohne irgend welche Arbeit dabei leisten zu k ö n n e n, wie es bei vielen unserer Hausthiere, die wir zum Zwecke der Mästung, zum Vergnügen u. s. w. halten, der Fall ist. Bei derartigen Thieren ist nicht nur die relative Herzgrösse geringer als bei arbeitenden, sondern auch die Blutmenge und sogar der Haemoglobingehalt des Blutes, alles Veränderungen, die mit voller Bestimmtheit darauf hinweisen, dass entsprechend der Abnahme der mittleren Arbeit und der dadurch bedingten Verminderung des mittleren O-Verbrauchs auch die Blut- bezw. O-Zufuhr (Oxyhaemoglobinzufuhr) pro Zeiteinheit und Körpergewichtseinheit abgenommen hat. Durch diese Veränderungen muss auch die Arbeitsfähigkeit, d. h. die Höhe der in der Zeiteinheit möglichen Arbeit herabgesetzt werden, so dass das Nichtarbeiten indirect die Ursache verringerter Arbeitsfähigkeit wird. Es ist ja auch bekannt, dass ein gemästetes Thier, trotz voll entwickelter Musculatur, nicht sofort zu länger dauernder Arbeit verwandt werden kann, ebenso wie wir selbst, wenn wir längere Zeit geringe körperliche Arbeit geleistet haben, erst wieder längerer Uebung bedürfen, um die volle Kraft unserer Gliedmaassen zu erhalten. Dass hiebei Veränderungen der Circulationsverhältnisse durch die betreffenden Muskeln u. s. w. keine kleine Rolle spielen, scheinen mir die oben erwähnten Veränderungen der Blutmenge, des Herzens und des Haemoglobingehaltes ent-

schieden zu beweisen. Wenn aber von der Höhe der mittleren Blut- (bezw. O-)Zufuhr die Höhe des mittleren O-Verbrauches, d. h. *cet. par.* die Wärmebildung bei Körperruhe abhängt, so ist klar, dass bei Individuen von dauernd geringer mittlerer Arbeit, bei welchen also das a' der Formel $W = C\frac{\sqrt{(a'Z\zeta)^3}}{K^{5/6}}$ kleiner geworden ist, auch die Grösse a der Formel $W = aK^{2/3}$ abnehmen muss. Da ich in dem Nachweis, dass Thiere mit relativ kleiner Blutmenge und relativ kleinem Herzgewicht auch einen relativ kleinen Umsatz haben, einen Beweis für die Richtigkeit meiner Annahme erblicke, dass der Umsatz *cet. par.* von der mittleren O-Spannung abhänge, so werde ich im Folgenden auf diesen Nachweis etwas näher eingehen.

Aus der Formel $W = \frac{\sqrt{(a'Z\zeta)^3}}{K^{5/6}}$ ergiebt sich ferner, dass W und damit die Grösse der Constanten a abhängig ist von der Grösse der relativen Muskelmase $(Z\zeta)$. Diese hängt nun ausser von der Uebung (von dieser, wie schon die gemästeten Thiere beweisen, bei gegebener Ernährung nur in geringem Grade) in erster Linie von der Gesamternährung ab. Letztere übt aber noch für sich allein einen Einfluss auf die Grösse der Constanten a aus. Es lässt sich zeigen, und ich werde später genauere Daten darüber mittheilen, dass in der abgemagerten Zelle die Zersetzung unter etwas anderen Bedingungen verläuft als bei der normal genährten, namentlich dass sie unter einer grösseren O-Spannung vor sich geht, d. h. dass der Quotient: Verfügbarer O dividirt durch verbrauchter O, beim schlecht genährten Thiere grösser wird; ebenso beim älteren Thiere gegenüber dem jüngeren, besonders dem wachsenden Thiere. Dass dabei auch die Grösse von a sich ändert, ist selbstverständlich, doch lässt sich einstweilen für die Abhängigkeit der Grösse a vom Ernährungszustand, Alter u. s. w. keine bestimmte Function angeben. Ich werde mich also damit begnügen, zu beweisen, dass Ernährungszustand und Alter einen directen und ziemlich bedeutenden Einfluss auf die Grösse der Constanten a ausüben.

1. Einfluss der Höhe der mittleren Arbeit. Ich werde zunächst kurz in Tabellenform Herzgewicht, Blutmenge und Umsatz der verschiedenen Thiere, soweit Untersuchungen darüber vorliegen, resp. mir bekannt geworden sind, zusammenstellen derart, dass ich stets die Thiere mit relativ geringen Zahlen den anderen mit hohen Zahlen gegenüberstelle, es wird sich zeigen, dass sowohl bei Herzgewicht wie bei Blutmenge und bei Umsatz sich die Thiere vollkommen gleichmässig verhalten, d. h. was bei einer dieser drei Grössen relativ niedere oder relativ hohe Zahl darbietet, zeigt das Gleiche auch bei den beiden anderen Grössen.

A. Blutmenge in Procenten des Körpergewichts:

Kaninchen[1] (im Mittel aus 30 Bestimmungen)	4·98	Hund[4] (22 Best.)	7·94
Meerschweinchen[2] (6 Best.)	4·93	Mensch[5] (2 Best. n. Bischoff)	7·77
Hauskatze[3] (5 Best.)	5·83	Maus,[6] graue (9 Best.)	8·46
Rind[7] (s. Anm.)	(5·14)	Pferd[7] (s. Anm.)	(6·50)

B. Herzgrösse:

Kaninchen (Mittel aus 20 Bestimmungen)[8]	0·331	Hase[9] (4 Best.)	0·76
Meerschweinchen (6 Best.)	0·360	Mensch[10]	0·55—0·65
Katze (3 Best.)	0·357	Hund (7 Best.)	0·731
weisse Ratte (5 Best.)	0·430	Hausmaus (4 Best.)	0·791
weisse Maus (6 Best.)	0·548	Pferd nach Frank[11]	0·70—1·10
Kuh (10 Best.)[9]	0·383	„ „ Bergmann[9]	0·63
Ochse (6 Best.)[9]	0·386	„ „ Rigot[11]	0·625

C. Umsatz bei normaler Ernährung und Körperruhe. Grösse von a:[12]

Kaninchen, n. Regnault[13] (3·523 ^{grm})	107—110	Hund, nach Regnault[14] (6 ^{kgrm})	160—165

---

[1] Dabei 5 Bestimmungen von Heidenhain, *Archiv für physiologische Heilkunde.* 1857. N. F. Bd. I; — 2 Best. von Subbotin, *Zeischrift für Biologie.* Bd. VII. S. 185; — 10 Best. von Gscheidlen, *Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium zu Würzburg.* 1869; — 12 Best. von Ranke, *Blutvertheilung und Thätigkeitswechsel der Organe.* 1871; — 1 Best. von Brozeit, Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. III

[2] 5 Best. von Gscheidlen, a. a. O.; 1 Best. von Ranke, a. a. O.

[3] 2 Best. von Ranke, a. a. O.; — 2 Best. von Brozeit, a. a. O.; 1 Best. von Welker, *Zeitschrift für rationelle Medicin.* 1858.

[4] 2 Best. von Ranke, a. a. O.; — 5 Best. von Spiegelberg und Gscheidlen, *Archiv f. Gynaekologie.* Bd. IV; — 2 Best. von Subbotin, a. a. O.; — 7 Best. v. Panum, Virchow's *Archiv.* Bd. XXIX. S. 241 u. 481; — 6 Best. von Heidenhain, a. a. O.

[5] *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie.* Bd. IX.

[6] 3 Best. v. Welker, a. a. O; — 6 Best. von Brozeit, a. a. O.

[7] Die Zahlen für Rind und Pferd entsprechen nur der beim Schlachten auslaufenden Blutmenge. Heissler, *Arbeiten aus dem patholog. Institut zu München.* 1886.

[8] Mackay, *Archiv für experimentelle Pathologie.* Bd. XIX. S. 287. Mit Weglassung der hungernden und fiebernden Thiere.

[9] Jos. Bergmann, *Inaugural-Dissertation.* München 1884.

[10] Wird später veröffentlicht.

[11] Franck, *Anatomie der Hausthiere.*

[12] Für „darmreine" Thiere würde a beim Kaninchen und Meerschweinchen noch um 5 bis 10 Procent grösser werden.

[13] Regnault und Reiset, *Annales de Chim. et de Phys.* (3) Bd. XXVI. Mittel aus den Nr. 16, 17, 18, 20, 22, 24. Die Verbrennungswärme von 1 ^{grm} O zu 3·33 bis 3·4 Cal. angenommen.

[14] *Ebenda.* Mittel aus Nr. 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 36. 1 ^{grm} O bei Fleischnahrung zu 3·1 bis 3·2 Cal. angenommen.

(Kaninchen, n. Richet[1] (3·100)	116·5)	Hund nach Pettenkofer u. Voit[2] (33)	155
Deutsche Kaninchen, nach Finkler[3] (1·498) . .	94	Richet[1] (10)	165
		Wood[4] (8—10)	160

---

[1] *Archives de Physiologie.* Paris 1885. II Sem. p. 237—450. Siehe vorher Anmerkung 4.

[2] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. VII.

[3] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XIV. S. 62.

[4] *Smithsonian Contributions.* Bd. XXIII. Mittel aus Versuch Nr. 110, 111 und 114, je vom ersten Tage des Versuchs; das Mittel von 110, 111, 112, 113 und 114 je vom ersten Tage des Versuches ergiebt $a = 146$. Die Arbeit Wood's giebt eine lebhafte Illustration der Missstände, die entstehen können aus dem Umstande, dass das englische (auch in wissenschaftlichen Kreisen gebrauchte) Maass- und Gewichtssystem vom übrigen internationalen Gewichtssystem abweicht. Wood drückt die Masse der durch seinen Apparat gegangenen Luft in Cubikfuss und englischen Pfunden aus, die Menge des ausgeschiedenen Wassers aber in Gramm. Er setzt dabei $497·603^{grm} = 1^{lb}$, andererseits aber 1 Cubikfuss Luft $= 0·08073^{lb}$, also, wenn englische Cubikfuss gemeint sind, $1^{lb} = 453·6^{grm}$. Er setzt ferner die Wärmemenge, die zum Verdampfen von 1^{lb} Wasser nöthig ist $= 79·25$ englischen Wärmeeinheiten (!). Wie er zu dieser Zahl kommt, kann ich mir nur auf folgende Weise erklären: 1^{lb} auf 1^0 F. erwärmt giebt die englische Wärmeeinheit, setzt man nun mit Wood $1^{lb} = 497·6^{grm}$, so ist 1 engl. Wärmeeinheit $= 497·6 \times \frac{10}{18}$ Gramm-Celsius W.-E. $= 0·276$ Cal.; die Wärmemenge, die nöthig ist, um $497·6^{grm}$ Wasser bei 37^0C. zu verdampfen, ist $= 497·6 \times 580 = 288·7$ Cal. Statt nun diese 288 Cal. durch 0·276 zu dividiren, hat Wood offenbar multiplicirt, wenigstens ergiebt sich nur auf diese Weise eine Zahl, die mit der seinigen (79·25) annähernd übereinstimmt: 79·67. Richet, der Wood's Zahlen für das Kaninchen in's Grammsystem umrechnet, rechnet dann fälschlich noch mit dem englischen Troygewicht ($1^{lb} = 373^{grm}$), statt dem Avoir du pois-Gewicht (den Kaninchen von 3·5 und $4·1^{lb}$ giebt er 1·3 und $1·55^{kgrm}$). Eine grössere Confusion in wissenschaftlichen, auf das internationale Publikum berechneten Werken ist wohl kaum denkbar. Was den experimentellen Theil der Arbeit Wood's betrifft, so möchte ich bemerken, dass er ebensowenig wie Richet Controlversuche giebt, aus denen sich die Grösse der Fehlerquellen erkennen liesse. Dass letztere nicht klein sind, erkennt man besonders aus den kurzdauernden, 1—2 stündigen Versuchen. (In Versuch 25 z. B. auf 1^{grm} CO_2 1,7 Cal.; in Versuch 27 auf 1^{grm} CO_2 ca. 5 Cal., was beides unmöglich. In Versuch 32 konnte sich die eintretende Luft im $78·2^0$ F. messenden Calorimeter von 79·3 auf $77·2^0$ F. abkühlen! Aus den Daten dieses Versuches ergiebt sich $a = 42$ (!), ähnlich aus den Versuchen 54, 57, 72 u. s. w.) Ich habe deshalb zur Berechnung der Zahlen für Hund und Kaninchen nur die 15—20 Stunden dauernden Versuche 110—116 benutzt, bei welchen die Fehler relativ jedenfalls viel geringer sind, da die Resultate von denen der übrigen Forscher kaum abweichen. Bei den Zahlen für das Kaninchen ist die durch Wasserverdunstung gebundene Wärme nicht mit eingerechnet, da die Wasserabgabe nicht bestimmt wurde. Auch von Richet wurde die Wasserverdunstung nicht berücksichtigt, bei der Einrichtung seines Calorimeters (a. a. O.) sind keinesfalls genauere Zahlen als bei dem von Wood zu erwarten. Die sehr kleine Tabelle auf S. 261 ergiebt einen maximalen Fehler von 30 Procent.

Pflüger[1] (1·381) . .	86
Wood[2] (1·867) . . .	89
(C. Schmidt[4] (2·331) .	91
Meerschweinchen, nach	
Colasanti[6] (274, 21°C.)	83
„ (419, 17° C.)	93
Finkler[7] (480, 18° C.)	122
Richet (700) . . .	129
Katze, nach Herzog Carl	
Theodor[8] (2750) . .	136
Richet (3150) . . .	116
(„ (1·700) . . .	128)
C. Schmidt[4] (2·346) .	104
Mensch,[3] nach Pettenkofer	
und Voit (71)	156
Eber,[5] nach Reiset (135) .	163
Hund, nach Rubner 10 u. 18 kgrm	127
(*Zeitschr. f. Biologie,* 1886.)	

Der Einfluss der mittleren Arbeit zeigt sich auch sehr deutlich bei den Vögeln:

Huhn, nach Regnault[9] . .	99
Gans, nach Reiset[10] . . .	90
Puter, nach Reiset . . .	103
Taube, nach Boussingault[11]	154
Richet[8]	141
(Huhn, nach Richet . . .	158
Gans, nach Richet . . .	144
Ente, nach Richet . . .	152)
Sperling, nach Regnault	
(22 grm)	225
Kreuzschnabel, nach Regnault	223
Grünfink, n. Regnault	229—294
(Sperling, nach Richet . .	260)

Im Stalle oder im Hofraum aufgezogene Vögel haben also viel geringeren Umsatz als frei fliegende. Die Taube steht offenbar in der Mitte zwischen den wenig oder gar nicht fliegenden zahmen Vögeln und den ungezähmten, frei lebenden Vögeln. Die starke Zunahme von *a* bei den kleinen Singvögeln ist jedenfalls zum grossen Theil darauf zurückzuführen, dass diese auch im Käfige bekanntlich nie ruhig sitzen, sondern auch im

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XVIII. S. 355.
[2] A. a. O. Nr. 116.
[3] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. II.
[4] Bidder und Schmidt, *Die Verdauungssäfte und der Stoffwechsel.*
[5] *Annales de Chim. et de Phys.* (3) t. LXIX.
[6] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XIV. S. 392.
[7] *Ebenda.* Bd. XV. S. 603.
[8] *Zeitschrift für Biologie.* Bd. XIV. S. übrigens die Bemerkung auf S. 369.
[9] A. a. O. Mittel aus den Nr. 44, 45, 47, 48, 49, 50, 52.
[10] A. a. O.
[11] *Annales de Chim. et de Phys.* (3) t. XI.

engen Käfige in ständiger Bewegung sind. Ihr Umsatz bei Körperruhe würde sich wohl am sichersten aus ihrem Umsatze während des Schlafes berechnen lassen.

Ferner muss bei den fliegenden Vögeln a aus dem Grunde etwas grösser werden als bei den Säugethieren, weil bei jenen die relative Muskelmasse etwas grösser ist, indem Alles, was das Körpergewicht unnöthiger Weise vermehren würde, bei ihnen vermieden ist (kein Fett in den Röhrenknochen und überhaupt geringes Fettreservoir, geringer Darminhalt u. s. w.). Einen ähnlichen Umsatz wie Mensch und Hund zeigt nach Regnault ein junger Enterich ($a = 167$), doch kommt hier wahrscheinlich noch der Einfluss der Jugend in's Spiel (s. w. u.).

Bei weissen Mäusen habe ich die mittlere Nahrungsaufnahme bestimmt, hieraus ergiebt sich (bei 5 Procent Verlust im Kothe) $a = 148$. Es ist dieses a aber nicht direct mit den obigen Zahlen zu vergleichen, da obige Zahlen den Umsatz bei Körperruhe, das letzte a dagegen den Umsatz bei der mittleren gewohnten Lebensweise angiebt. Die Mäuse schlafen zwar unter Tags grösstentheils, werden aber Abends und Nachts sehr lebhaft. Da das a trotzdem nicht grösser ist als das a der rechts stehenden Thiere bei voller Körperruhe, kann man mit voller Sicherheit schliessen, dass bei weissen Mäusen bei voller Körperruhe a bedeutend kleiner ist. Das Gleiche gilt übrigens theilweise auch von der Grösse a bei der Katze von Herzog Carl Theodor und wohl auch bei der Taube von Boussingault.

Da der Mann grössere mittlere Arbeit leistet als das Weib, muss auch sein mittlerer Umsatz bei Körperruhe nach unserer Annahme grösser sein. Mit dieser Annahme stimmen die bis jetzt vorliegenden Untersuchungen: Setzt man z. B. die von einem Individuum pro Tag gebildete Kohlensäuremenge $= CO_2 = aK^{2/3}$, so ergiebt sich aus den Untersuchungen Scharlings:

Mädchen, 19 Jahre alt	$a = 41 \cdot 8$	Mann, 39 Jahre alt	$a = 49 \cdot 6$
„ 10 „ „	$57 \cdot 4$	Knabe, $9^3/_4$ „ „	$62 \cdot 6$

Auf S. 368 bewegen sich die grössten Mittelzahlen für a beim Säugethier zwischen 155 und 165. Es ist jedoch hier zu bemerken, dass der von Pettenkofer und Voit untersuchte Arbeiter ein Uhrmacher, also kaum ein an schwere körperliche Arbeit gewohnter Mensch war, ferner, dass der von ihnen untersuchte Hund schon mehrere Jahre grösstentheils im Stalle gehalten war, drittens, dass die von Regnault und Richet untersuchten Hunde sämmtlich von kleiner Rasse waren, die für gewöhnlich als Luxushunde gehalten werden, und deshalb gewöhnlich nicht an die gleich schwere Arbeit, wie grössere Arbeitshunde (Jagdhunde u. s. w.), gewöhnt sind. Man kann deshalb mit voller Sicherheit annehmen, dass für

ein an schwere Arbeit gewöhntes Individuum (Pferd, Hund, Arbeiter) a noch etwas höher ausfallen würde.

Ich brauche wohl nicht noch besonders hervorzuheben, dass bei den meisten der S. 368 rechts stehenden Thiere von der grösseren Zahl der Forscher auch ein grösserer Haemoglobingehalt des Blutes gefunden wurde als bei den links stehenden, der gleichen Gattung oder Familie angehörenden Thieren.

2. Ein Theil der links stehenden Thiere, besonders Kaninchen und Meerschweinchen, besitzt bekanntlich auch eine kleinere relative Muskelmasse (M), und die Grösse a würde also bei den verschiedenen Thieren geringere Differenzen aufweisen, wenn man statt $W = aK^{2/3}$ setzen würde $W = aM^{2/3}$; vollkommen verschwinden würden die Differenzen jedoch dadurch nicht, da die Muskelmasse der rechts stehenden Thiere keinesfalls um 50 Procent grösser ist als die der links stehenden, wie es sein müsste, wenn a rechts und links gleich werden sollte.

Dagegen ist die Formel $W = aM^{2/3}$ die einzig richtige, wenn es sich um die Vergleichung zweier Thiere mit sehr verschiedener Fettmasse handelt, denn je grösser die relative Fettmasse, um so kleiner die relative Muskelmasse. Es ist durch Henneberg[1] gezeigt worden, dass die Muskelmasse eines Thieres auch durch reichliche Mästung nicht viel über die normale Grösse erhöht werden kann; ebenso ergiebt sich aus den Untersuchungen Pettenkofer's und Voit's, dass auch der Umsatz bei abundanter Fütterung nicht viel über die normale Höhe steigt: von 1600 Cal. pro Tag auf 1700 (1800?).[2] Der Umsatz steigt also bei zunehmendem Fettansatz pro Einheit Muskelmasse nur sehr wenig, während er pro Einheit Körpergewicht natürlich abnimmt. Kaninchen, Meerschweinchen und Katzen enthalten jedoch, ebenso wie Huhn und Taube, wenn sie nicht direct gemästet sind, nie besonders grosse Fettmassen am Körper, so dass höchstens bei der Gans oder dem von Pettenkofer und Voit[3] untersuchten Menschen (71^{kgrm}) a vielleicht durch eine etwas grössere als normale Fettmasse am Körper beeinflusst sein kann. Gleichen Einfluss wie das Fett üben natürlich auch schwere Geweihe, grosser Darminhalt u. s. w.

3. Einfluss des Ernährungszustandes. Zu den S. 331 gegebenen Beispielen betreffs des Einflusses des Ernährungszustandes auf a füge ich noch folgende hinzu:

---

[1] *Zeitschrift für Biologie.* 1881. S. 295.

[2] Vergl. Virchow's *Archiv.* Bd. LXXXIX. S. 333.

[3] A. a. O.

Hund α von 31 kgrm, 1 Jahr 2 Mon. alt	a = 173—183	Hund β gleichen Wurfes, mit 1/3 d. Nahrung von α aufgezogen, 10 kgrm	a = 122—130
Katze α, 2·8 kgrm, 1 Jahr 5 Monate	135	Katze β gleichen Wurfes, mit 1/2 Nahrung aufgezogen, 1·6 kgrm	100
Hund IIα, 6·25 kgrm, 2 Jahr 10 Monate	186	Hund IIβ gleichen Wurfes, seit 2 Jahren nur mit 1/2 Nahrung gef.; 4·4 kgrm .	118
Mensch, 71 kgrm [1]	156	Mensch II (Schneider) von 52 kgrm	136
Hund, von Regnault, Nr. 27, 28, 29, 35, 36 [3]	164	Am 2.— 3. Hungertag, Nr. 37 [3]	123
Kaninchen, von Regnault,[3] Nr. 20	107	Am 2. Hungertag, Nr. 21	85·5
„ 22	116	„ „ „ „ 23	89·7
(Mensch am 1. Hungertag, Pettenkofer u. Voit . .	138)	Kaninchen, von Rubner[2] am 2. Hungertag . . .	78·5
		„ „ „ . . .	96·3
Huhn, Regnault, Nr. 48, 49, 50, 52	102	Huhn Nr. 51, 2. u. 3. Hungertag	76
Junges Huhn, Regnault, Nr. 53, 55, 56, 57, 58 . .	129	Huhn Nr. 54 u. 59, 2. bis 4. Hungertag	86
Junger Enterich, Regnault, Nr. 60	167	Nr. 62, 3. Hungertag .	129·5[4]

[1] Pettenkofer und Voit, a. a. O.

[2] *Zeitschrift für Biologie.* 1884.

[3] O bei Hunger = 3·2 Cal.; bei Ernährung mit Korn, Hafer u. s. w. = 3·33; bei Fleischnahrung 3·1—3·2.

[4] Auch aus den Regnault und Reiset'schen Versuchen ergiebt sich der geringe Einfluss mässiger Temperaturschwankungen auf die Höhe des Umsatzes. Vergl. z. B. Nr. 48, 49, 50 und 52 äussere Temp. = 14, 19, 19, 20; a = 102, 100, 106, 99 u. s. w. Von Interesse ist noch folgende Zusammenstellung:

	Fleischnahrung (eiweissreiche Nahrung).		Eiweissarme kohlehydratreiche Nahrung.	
Hund	Nr. 27. 28 29	a = 163	Nr. 36	160
Huhn	Nr. 52.	99	Nr. 48. 49, 50.	103
Huhn, jung	Nr. 55. 56.	115	Nr. 53. 57. 58.	120
Enterich	Nr. 63.	156	Nr. 60	167

Die Constante a ist gleich dem Product der beiden von Rubner angegebenen Constanten kn, von welchen n das Verhältniss des Umsatzes zur Oberfläche und k das Verhältniss der Oberfläche zu $K^{2/3}$ darstellt. Das Product kn beträgt bei Rubner für den Menschen 139·5, für den Hund 124·1, so dass also darnach der Hund

Bei Hund α, β, IIα, IIβ und Katze α und β ist a aus der täglichen Nahrungszufuhr berechnet. Da die Thiere im Stalle gehalten waren, entspricht der gefundene Umsatz nahezu dem Umsatz bei Körperruhe. Der Umstand, dass bei Hund α und IIα die Grösse a höher ausfiel als beim Hunde von Pettenkofer und Voit ($a = 155$), dürfte wohl zum Theil von der kleinen Arbeit bei den täglichen Bewegungen im Stalle, zum Theil wohl auch von der grösseren Jugend der Hunde abhängen (s. w. u.).[1] Auch der Hund von Pettenkofer und Voit zeigte im Jahre 1861, in welchem Jahre nur relativ wenig Respirationsversuche gemacht wurden, bei guter Ernährung ein bedeutend grösseres a als später, im Mittel = 175—180 (Versuch vom 19. und 24. Februar, 30. und 31. März, 19. und 21. April). Die drei mit α bezeichneten Thiere waren sehr wohl genährt, ohne fett zu sein: Fettgewebe und Bindegewebe von Hund α = ca. 6 Procent, IIα 14 Procent, Katze α 8·5 Procent. Betreffs des Einflusses eines zunehmenden Ernährungszustandes darf ich wohl auf meine frühere Arbeit in Virchow's Archiv, Bd. LXXXIX, verweisen. Der relativ hohe Umsatz des von Reiset untersuchten Ebers (135^{kgrm}) $a = 163$ dürfte wohl grossentheils von der guten Ernährung, zum Theil auch von der Jugend (zweijährig) herrühren.

Setzt man statt $W = aK^{2/3}$ die Formel $W = \frac{aK'}{K^{1/3}}$, wobei K' das Körpergewicht bei gesunkenem Ernährungszustand, K das Gewicht der Thiere bei normaler Ernährung bezeichnet, so verschwindet zum grossen Theil die Inconstanz der Grösse a in den obigen Fällen. Beim Hund β wird dann a = 186—195, bei IIβ = 132, bei Katze β = 120, beim Menschen II = 151. Bedeutend geringer ist die Uebereinstimmung der Grösse a der Formel $W = aK'K^{-1/3}$ in den Fällen von acutem Hunger. Es wird beim Hunde Regnault's darnach a = ca. 125, im Mittel bei beiden Kaninchen = 89·5. Bei den S. 331 mitgetheilten Fällen ist a beim Hunde Pettenkofer's und Voit's nach der ersten Formel bei guter Ernährung, achter Hungertag, zehnter Hungertag: = 155, 121, 98, nach der zweiten Formel: 155, 123, 109; beim Hunde Rubner's nach der ersten Formel: 124, 106; 139, 99, nach der zweiten: 124, 111; 139, 104. Jedenfalls ergiebt sich also aus der Formel $W = aK'K^{-1/3}$ eine bedeutend grössere Annäherung an die Wirklichkeit als aus der Formel $W = aK^{2/3}$.

---

einen bedeutend geringeren Stoffwechsel hätte als der Mensch. Die Rubner'sche Zahl für den Hund ist aber eine Mittelzahl aus Beobachtungen ziemlich später Hungertage, und zwar im Mittel vom vierten (!) Hungertag. Sie beweist also nur den grossen Einfluss des Ernährungszustandes auf den Umsatz, den eben Rubner bei seinen Untersuchungen nicht berücksichtigte.

[1] Zum Theil vielleicht auch von der besseren mittleren Ernährung.

4. Einfluss des Alters. Rubner berechnet für das Kind in den ersten Lebensmonaten, entsprechend seiner Theorie, den gleichen relativen Umsatz wie für den erwachsenen Mann bei Körperruhe. Es wird ihm dies aber nur dadurch möglich, dass er von den vielen vorliegenden Bestimmungen bei Nahrungszufuhr beim Kinde nur zwei Fälle zusammenlegt, wovon einer ein kränkliches Kind (s. w. u.) betrifft, das gegenüber sämmtlichen übrigen Fällen, bei welchen die Nahrungszufuhr beim Kinde bestimmt wurde, auffallend wenig Nahrung zu sich nahm. Verminderte Nahrungszufuhr übt aber im wachsenden Organismus einen noch grösseren und rascheren Einfluss auf den Umsatz aus als im ausgewachsenen Körper. Bestimmungen der Gesammt-Nahrungsaufnahme und der Wachsthumszunahme Tag für Tag während einiger Monate des ersten Jahres sind ausgeführt von Ahlfeld und von Hähner, Bestimmungen der Nahrungsaufnahme an einzelnen Tagen während einiger Monate von Bouchaud, Bestimmungen der mittleren Nahrungsaufnahme und der mittleren Wachsthumszunahme während des ersten Jahres von Bouchut, Bestimmungen der Nahrungaufnahme und des Wachsthums während kürzerer Zeit von Forster, Cammerer, Krüger, Bartsch. Ueber die Nahrungsaufnahme im späteren Kindesalter liegen Bestimmungen von Forster, Cammerer und Hasse vor. Ich stelle im Folgenden kurz die Berechnungen dieser verschiedenen Untersuchungen zusammen. Die Originalarbeiten von Bouchaud und Bartsch waren mir nicht zugänglich, ich citire dieselben nach Vierordt (*Physiologie des Kindesalters*).

	Ahlfeld[1]			Hähner[2]		
Woche	Milchmenge	Gewicht	a[3]	Milchmenge	Gewicht	a[3]
4.— 6.	674	3740	190	666	3821	217
7.— 9.	819	4079	219	802	4651	198
10.—12.	834	4889	198	788	5208	178
13.—15.	976	5522	213	834	5587	181
16.—18.	1007	6207	203	813	5967	168
19.—21.	1028	6832	194	868	6395	171
22.—24.	1040	7401	186	849	6685	163
25.—27.	1062	7782	184	1018	6920	191
28.—30.	1270	8387	209	1215	7354	218
31.—33.	—	—	—	1070	7575	189
34.	—	—	—	1100	8040	187
Mittel:			199·6			187·4

[1] *Ueber Ernährung des Säuglings an der Mutterbrust.* 1878.

[2] *Jahrbuch für Kinderheilkunde.* 1880. XV.

[3] Der Berechnung des Wärmewerthes der Milch wurde die von Mendes de Leon, *Zeitschrift für Biologie*, 1881, gefundene mittlere Zusammensetzung der Muttermilch zu Grunde gelegt; daraus 1 Liter Milch = 0·678 (rund 0·68) Cal.

Die Untersuchungen Ahlfeld's umfassen 198 Tage, die Hähner's 238 Tage; die aus ihren Untersuchungen sich ergebende Grösse von a besitzt also gegenüber den Berechnungen aus den übrigen Untersuchungen, die meist nur wenige Tage umfassen, das Gewicht 198 bezw. 238. Bei Hähner war zugleich die angewandte Methode noch exacter (siehe a. a. O.). Ich will die Untersuchungen der übrigen Forscher auch nur noch als Beispiele anführen, um zu zeigen, dass auch von den übrigen Forschern im Durchschnitt keine den Zahlen Ahlfeld's und Hähner's widersprechenden Grössen gefunden wurden. Vorerst aber möchte ich auf den theilweise berechtigten Einwurf eingehen, dass die mittlere Nahrungszufuhr beim wachsenden Kinde nicht dem wirklichen mittleren Verbrauch entspricht, da ja vom Kinde Organmasse angesetzt wird.

Die Gesammtaufnahme, in Calorien ausgedrückt, während der 198 Tage beim Kinde Ahlfeld's betrug 124 400 Cal., beim Kinde Hähner's von der 4. bis 34. Woche 132 600 Cal. Während der betreffenden Zeit nahm das Kind Ahlfeld's um ca. 5·15 ^{kgrm}, das Hähner's um 4·65 ^{kgrm} zu. Würde nun a beim Kinde denselben Werth haben wie beim Erwachsenen = 156, so würde das Kind Ahlfeld's in der betreffenden Zeit etwas weniger als 97 000 Cal., das Hähner'sche etwa 110 500 Cal. verbraucht haben, die 5·15 ^{kgrm} Ansatz beim ersten Kinde müssten also 25,000 Cal., die 4·65 ^{kgrm} des zweiten über 22 000 Cal. entsprechen, d. h. die 5·15 ^{kgrm} müssten zur Hälfte aus Organmasse, zur Hälfte aus reinem Fett bestehen; die 4·65 ^{kgrm} aus 2·550 ^{kgrm} Organmasse und 2·100 ^{kgrm} reinem Fett, was Jedermann für unmöglich halten wird, wenn er bedenkt, dass das Wachsthum beider Kinder durchaus dem normalen Wachsthume wohlgenährter Kinder entspricht, dass es nur wenig das von Quetelet angegebene mittlere Wachsthum überschreitet und man also dann annehmen müsste, dass die Folge einer reichlichen Ernährung die sei, dass die eigentliche Organmasse langsamer und in geringerem Grade wächst als bei weniger guter Ernährung! Selbst wenn man annimmt, dass die angesetzte Organmasse 10 Procent reines Fett enthielt, stellt sich die Constante a für das Kind Ahlfeld's immer noch auf 180, für das Hähner's auf 173. Ich halte durch diese Rechnung für zweifellos erwiesen, dass die Constante a beim wachsenden Kinde einen bedeutend höheren Werth als beim Erwachsenen besitzt. Ich darf vielleicht noch daran erinnern, dass das Kind eine procentisch kleinere Muskelmasse besitzt und dass also relativ zur Muskelmasse a noch grösser wird. Bevor ich die Untersuchungen der übrigen Forscher anführe, möchte ich die meines Wissens bis jetzt einzige directe Bestimmung des Umsatzes beim Kinde, die von Richet gemacht wurde, anführen, die vollkommen mit obigen Zahlen übereinstimmt. Aus den

Untersuchungen Richet's bei Kindern von im Mittel $7 \cdot 5^{\text{kgrm}}$ (also von der 32. bis 36. Woche?)[1] berechnet sich $a = 188$.

Cammerer bestimmte an seinem eigenen fünften Kinde (Mädchen) die Nahrungsaufnahme an einzelnen Tagen während des ersten Lebensjahres. Das Kind war jedoch viel krank, hatte Geschwüre, Furunkeln, häufige Verdauungsstörungen, später Perityphlitis, Periostitis u. s. w. In der Zeit vom 18. bis 163. Tage berechnet sich aus der Nahrungszufuhr $a = 143 - 144 - 145 - 140 - 138$. Entsprechend der geringen Nahrungsaufnahme blieb das Kind auch im Wachsthum etwas zurück, es wog am 109. Tage $5 \cdot 2^{\text{kgrm}}$ am 162. 6.1^{kgrm}, während z. B. Ahlfeld's Kind zur betreffenden Zeit 5900 und 7500 wog. Ob übrigens der Grund, warum das Kind Cammerers so wenig Milch zu sich nahm, am Kinde selbst lag, erscheint mehr als zweifelhaft, wenn man sieht, wie sofort nach dem Uebergange von Muttermilch zu Kuhmilch das Kind bedeutend grössere Quantitäten zu sich nahm; es beträgt nämlich vom 211. bis 245. Tage nach dem Uebergange zur Kuhmilch a (der Nahrung) im Mittel $= 218$! Das Kind zeigt auch von dieser Zeit an ganz bedeutend stärkeres Wachsthum.

Dies ist das eine der beiden von Rubner ausgewählten Kinder zur Vergleichung des Umsatzes im ersten Lebensjahr. Das zweite, das Kind Forster's,[2] giebt wieder das gleiche Resultat wie das Kind Ahlfeld's und Hähner's. Das Mittel aus beiden giebt nach Abzug des Ansatzes gerade ein mit dem Umsatze des Erwachsenen ziemlich übereinstimmendes Resultat. Es ist bei dem Kinde Forster's das a der Nahrungszufuhr $= 190$, das a des Umsatzes, wenn man mit Rubner annimmt, dass der Ansatz im Mittel die Zusammensetzung des Fleisches gehabt habe, $a = 179$, wenn man annimmt, dass der Ansatz 10 Procent Fett enthalten habe $a = 169$, Ferner:

Mädchen 14 Tage alt, Muttermilch ($2 \cdot 7^{\text{kgrm}}$) . . .	$a = 176$
Kind besserer Stände 5 Monat, condens. Milch . .	$a = 215$
Arbeiterkind 4 Monat, Mehlbrei	$a = 256$
$^1/_2$ Jahr, gemischt	$a = 219$.

Für das oben erwähnte Kind Cammerers ergiebt sich im Alter von $1^1/_2$ Jahren a (N.) $= 205$; mit $8^1/_2$ Jahren $= 150$ (dauernd kränklich), für Cammerer's 4. Kind (Mädchen) mit $3^1/_2$ Jahren $= 180$, mit $10^1/_2$ Jahren

[1] Richet giebt in *Comptes rendus* 1885 an, die Versuche an Kindern von zwei bis vier Jahren ausgeführt zu haben, die angegebenen Gewichte schwanken aber nur zwischen 6 und 9^{kgrm}! Es sind also jedenfalls sehr schlecht genährte Kinder gewesen. Andererseits legte Richet dieselben nackt in seinen Apparat; schuf also künstlich abnorme Verhältnisse für die Wärmeabgabe.

[2] *Handbuch für Hygiene.* Ernährung. S. 127.

= 182, sein 3. Kind (Knabe) $5^1/_2$ Jahr = 217, $12^1/_2$ Jahr = 173, 2. Kind (Mädchen) 9 Jahre = 193, 1. (Mädchen) $10^1/_2$ Jahr = 210.[1]

Aus den von Bouchut[2] angegebenen Zahlen berechnet sich *a*

		Gewicht	*a*
Für das Ende des	1. Monats	4000	170
„ „ „ „	2. „	4700	172
„ „ „ „	3. „	5350	190
„ „ „ „	4. „	5950	197
„ „ „ „	5. „	6500	186.
Aus Bauchaud's[3] Zahlen			
	8. Tag	3155	168
	30.—38. „	3565	177
	7. Woche	5017?	140?
	9. „	5677	161
	3.—4. Monat	5873	144
	5. „	6847	160
Nach Bartsch[4] .	8. Tag	3302	212
„ Krüger[5]	9.—10. „	3250?	196
	11. „	3300?	217
„ Cammerer[6]	5. Monat	6800	298?

Nur aus Bauchaud's Zahlen berechnet sich also theilweise ein ähnlich niedriges *a* wie beim Kinde Cammerer's während der ersten Monate. Alle übrigen Zahlen stimmen mit den Zahlen Ahlfeld's und Hähner's vollkommen überein. Für über ein Jahr alte Kinder lässt sich aus der Nahrungsaufnahme der Umsatz bei Körperruhe einstweilen auch nicht einmal annähernd berechnen, da die Grösse des durch die geleistete Arbeit erforderten Verbrauches völlig unbekannt ist. Doch will ich ausser

---

[1] Für seine beiden ältesten Mädchen ergeben sich im nahezu erwachsenen Zustande (16 und $17^1/_2$ Jahre alt) abnorm niedrige Zahlen für *a* (*a* der Nahrungszufuhr = 100 und 114!). Ob die hier gefundene Nahrungsaufnahme wirklich der mittleren Nahrungsaufnahme entspricht, dürfte auch nach den Bemerkungen von Cammerer selber sehr zweifelhaft sein, man würde aus diesen fragwürdigen Zahlen auf eine sehr muskelschwache Constitution nothwendig schliessen müssen. Denn ein gesundes Weib dürfte wohl nicht einmal bei völliger Körperruhe einen derartig niedrigen Umsatz aufweisen. Uebrigens ergiebt sich gerade aus dem Absinken von *a* im reiferen Alter deutlich der Einfluss der Jugend auf *a*. (*Zeitschrift für Biologie.* Bd. XXIV.)

[2] *Gazette des hôpitaux.* 1874. S. 617.

[3] *De la mort par inanition etc.* Versailles 1864.

[4] S. Vierordt, *Physiologie des Kindesalters.*

[5] *Archiv für Gynaekologie.* Bd. VII.

[6] *Württemberg. medicinisches Correspondenzblatt.* 1876. Nr. 11.

den oben angeführten Berechnungen der Angaben Cammerer's noch folgende Zahlen für a (der mittleren Nahrungszufuhr) angeben:

Cammerer 6 Jahre (?) 17·35 kgrm $a = 160$; 8 Jahre (?) 18 kgrm (3 Versuche) $a = 188·5$.

Hasse (Mädchen) 3 Jahre 15·8 kgrm, $a = 195$; 5 Jahre 16·8 kgrm $a = 233$; 9 Jahre 31·2 kgrm $a = 202·5$; 11 Jahre 40·6 kgrm $a = 206$.

Uffelmann $2^1/_2$ Jahre (Knaben) 12·2 kgrm $a = 187$; 4 Jahre (Knaben) 15·25 kgrm $a = 192$; 8—13 Jahren (Knaben) mittleres Gewicht 25 kgrm $a = 177·5$.

Um auch für das Greisenalter dieselbe Constante wie für das Mannesalter zu erhalten, vergleicht Rubner die Nahrungsmenge, die der Pfründner nach den Bestimmungen von Forster im Durchschnitt täglich bei den einzelnen Mahlzeiten vorgesetzt erhält, resp. die er resorbiren würde, wenn er Alles Vorgesetzte aufzehrte, mit der Calorienmenge, die der jüngere Mann bei voller Körperruhe im Respirationsapparate thatsächlich verbraucht. Aber gerade daraus, dass beide Zahlen annähernd übereinstimmen, muss man nothwendig den Schluss ziehen, dass der Pfründner einen geringeren Umsatz hat als der jüngere Mann. Der Mensch, der täglich qualitativ verschiedene Nahrung erhält und dessen Nahrung auch quantitativ (in Calorien ausgedrückt) von einem Tag zum anderen sehr bedeutend wechselt, isst erfahrungsgemäss nicht täglich das ganze ihm vorgesetzte Nahrungsquantum pflichtgemäss bis zum letzten Brocken auf (wie etwa ein Versuchshund, der täglich eine bestimmte Menge Fleisch erhält), sondern er lässt einmal von der einen Speise oder von der anderen übrig, isst überhaupt, je nachdem er sich wohl fühlt, an einem Tage mehr am anderen weniger. Man muss desshalb aus hygienischen Gründen dem Manne im Durchschnitt mehr Nahrung vorsetzen als er im Durchschnitt täglich isst und verbraucht. Würde man ihm nur das physiologische Minimum, das er zur Erhaltung des normalen Zustandes gerade bedarf, täglich vorsetzen, so würde eben wegen der ungleichmässigen Nahrungsaufnahme nach einiger Zeit eine Abnahme seines Ernährungszustandes eintreten, und dann auch wieder der Umsatz geringer sein als die mittlere tägliche Nahrungsmenge. Das hygienische Minimum muss deshalb höher gegriffen werden, als das physiologische Minimum liegt. Es beweist die oben angeführte Thatsache also direct, dass der Umsatz im Greisenalter d. h. die Grösse a abnimmt. Die Verschiedenheit der Grösse a in Jugend und Alter kann wohl nur auf eine (einstweilen in ihrem Wesen unbekannte) Verschiedenheit des Zellprotoplasma's zurückgeführt werden (s. S. 365).

h) Nach meiner Theorie muss der Umsatz auch bei kaltblütigen Thieren *cet. par.* proportional $K^{2/3}$ gehen. Wenn die vorliegenden Bestimmungen des Umsatzes bei Fischen u. s. w. nicht durchaus eine entsprechend gleiche Grösse für a ergeben, so liegt dies einestheils daran, dass auf die S. 363 angeführten Bedingungen, die beim Vergleich verschiedener Thiere erfüllt sein müssen, grösstentheils keine Rücksicht genommen war, anderntheils daran, dass der wechselnde Ernährungszustand bei den kaltblütigen Thieren vielmal grössere Unterschiede im Umsatz bedingen muss als bei warmblütigen; denn letztere sterben, sobald ihr Umsatz soweit sinkt, dass die normale Körpertemperatur nicht mehr erhalten werden kann, während bei den kaltblütigen Thieren das zum Leben nöthige Nahrungsminimum einstweilen noch gar nicht festgestellt ist, jedenfalls weit unter dem der ersteren liegt. Ebenso zeigt die mittlere Arbeitshöhe viel grösse Unterschiede u. s. w. Dennoch tritt auch aus den bis jetzt vorliegenden Untersuchungen bei kaltblütigen Thieren, das Gesetz deutlich hervor: der Umsatz pro Kilo nimmt mit der Körpergrösse ab, während pro $K^{2/3}$ die Unterschiede erstens sehr viel kleiner, zweitens unabhängig von der Körpergrösse werden. Ich führe als Beispiel aus den Untersuchungen Jolyet's und Regnard's[1] Folgendes an:

Thiere	Gew. grm	Wasser-temp.	O pro St. in Ccm. pro Kilo	O pro $K^{2/3}$ □cm	relativ O pro K	relativ pro $K^{2/3}$	
Süsswasserfische:							
Cyprinus phox.	5	16	140	2·4	2·9	1·1	vorübergehender Sauerstoffmangel
Cobitis foss.	16	17—22	86	2·2	1·8	1·0	
Muraena ang.	112	15	48	2·3	1·0	1·0	
Cyprinus tinc.	222	14	55·7	3·2	1·2	1·5	
Seefische:							
Mullus	28	14	134	4·0	2.8	1·2	
Pleuronectes sol.	185	14	73·5	4.2	1·6	1·3	
Raja torpedo	315	14.5	47	3.2	1	1	
Aus den Untersuchungen Baumert's							
Cobitis foss.	43—61	13	27·2	1.0	2·1	1·25	
Cyprinus tinc.	190—223	10	13·2	0·76	1	1	

Das Schwanken der Grösse a unter dem Einfluss der Grösse der Muskelmasse, der mittleren Arbeit, des Ernährungszustandes, Alters sind

[1] *Archives de Physiologie norm. et pathol.* 1877. (2) t. IV.

[2] *Chemische Untersuchungen über die Respiration des Schlammpeitzgers.* Breslau 1855.

sämmtlich unerklärlich vom Standpunkte derjenigen Theorie, die das Bestimmende für die Höhe der Wärmebildung in der Höhe des vorausgegangenen Wärmeverlustes sucht. Die Veränderungen der Grösse a unter dem Einflusse obiger Momente, dienen daher einestheils als directe Beweise der Richtigkeit der von mir entwickelten Theorie, wie als weitere directe Widerlegungen der Oberflächentheorie.

Wenn gleichgrosse Thiere unter den Tropen, wie in den Polargegenden, in der heissen Luft der Tropen, wie im Wasser des Polarmeeres dennoch nur relativ wenig verschiedene Wärmemengen bilden, wie schon der homologe Bau ihrer inneren Organe beweist (S. 333 c.), dann kann bei verschiedengrossen im gleichen Klima lebenden Thieren unmöglich die verschiedene Grösse der Oberfläche die direct bestimmende Ursache für die verschiedene Wärmeabgabe sein.

Zum Schlusse möchte ich mir noch einen weiteren kleinen Rückblick erlauben: Ich habe auf den Seiten 366 bis 368 die Constante a bei Thieren berechnet, deren Körpergewicht um mehr als das 6000fache differirte (Sperling 20^{grm}, Eber 135000^{grm}) und doch nahezu die gleiche Zahl dafür gefunden: 225 und 163, und ich konnte auch diese geringen Abweichungen noch durch Annahmen erklären, deren Richtigkeit wohl keinem Zweifel unterliegen kann. Für die Richtigkeit der theoretischen Ableitung, dass die maximalen Functionsgrössen von Herz, Lunge, Darm u. s. w. bei verschiedengrossen Thieren *cet. par.* nur proportional $K^{2/3}$ wachsen, liegt der Hauptbeweis gerade in der erwähnten Thatsache des Gleichbleibens von a bei verschiedengrossen Thieren, besonders aber auch im Nachweise, dass auch bei den Vögeln a nahezu denselben Werth hat, wie bei den Säugethieren. Denn wir haben gesehen, dass grössere Vögel zur erfolgreichen Führung des Kampfes um's Dasein eines grösseren Umsatzes bedürfen würden, als sich aus $W = aK^{2/3}$ ergiebt. Die Folge davon ist aber nicht, dass nun in der That bei den grösseren Vögeln ein grösserer Umsatz besteht, sondern die Folge ist die, dass die des andauernden Fluges wirklich fähigen Vögel nur ein Gewicht, das höchstens dem eines kaum mittelgrossen Hundes entspricht, besitzen, dass die wenigen grösseren Vögel, die es giebt, nicht nach Art der übrigen Vögel leben, dass endlich die weitaus grosse Mehrzahl der Vögel zu den kleinsten Formen warmblütiger Thiere gehört, die es überhaupt giebt.

Nochmalige Bemerkung zur Theorie der Gesichtsempfindungen.

Von

Prof. v. Kries
in Freiburg.

Im 42. Bande des Pflüger'schen *Archives* u. s. w. (S. 488) hat Hering die früher in Aussicht gestellte Widerlegung der von mir gegen seine Theorie des Gesichtssinnes erhobenen Einwände zu veröffentlichen begonnen und zwar über die Unabhängigkeit der Farbengleichungen von den Erregbarkeitsänderungen des Sehorgans sich ausgesprochen.[1] — Wenn ich nach einigem Schwanken mich entschliesse, in dieser Angelegenheit noch einmal das Wort zu ergreifen, so geschieht dies hauptsächlich, weil ich wünsche, einen ganz bestimmten, nunmehr beiderseitig anerkannten Satz auch für den Unbetheiligten als greifbares Ergebniss der zwischen Hering und mir geführten Discussion zu constatiren. Dies ist durch die letzte Arbeit Hering's ermöglicht; denn, wie sich zeigen wird, enthält dieselbe zwar Mancherlei, was ich für unrichtig halten muss, stimmt aber wenigstens in Bezug auf den Punkt, der mir der wichtigste ist, mit von mir Gesagtem völlig überein.

Der Satz, auf den es mir ankommt ist der, dass in der Hering'schen Theorie angenommen werden muss, es seien die thatsächlich möglichen Combinationen der fünf Lichtvalenzen durch zwei durchgängig erfüllte Bedingungsgleichungen beschränkt. Hering drückt dies so aus, dass er die Darstellbarkeit aller möglichen Reizqualitäten in einer Ebene behauptet, und sagt demgemäss (a. a. O. S. 497):

[1] Es sei gestattet, im Folgenden die hier in Betracht kommende Thatsache, dass die Farbengleichungen von den Erregbarkeitszuständen des Sehorgans unabhängig sind, kurz mit dem Namen des Ermüdungs-Satzes zu bezeichnen.

„Alle auf der Mischebene vertretenen Verhältnisse verknüpft ein inneres Gesetz, vermöge desselben es eben möglich ist, alle diese Verhältnisse in Gemässheit der Schwerpunktsconstruction auf einer Ebene anzuordnen, und es gilt von diesen Verhältnissen Manches, was von einer entsprechenden Anzahl beliebig aus jener vierdimensionalen Mannigfaltigkeit herausgegriffer und daher nicht auf einer und derselben Mischebene unterzubringender Verhältnisse allerdings nicht gelten würde.“ Und weiter unten heisst es: „Da die in den wirklichen Lichtern möglichen fünfgliedrigen Verhältnisse eine beschränkende Bestimmung dadurch finden, dass sich alle diese Verhältnisse in einer Mischebene unterbringen lassen, auf welcher sie eine (wenn auch nicht vollständige) zweidimensionale Mannigfaltigkeit darstellen, so . . . .“

Wiewohl nun diese Sätze bei Hering als von mir nicht beachtet und zu einer Widerlegung meiner Einwürfe dienend erscheinen, so war doch meine Arbeit „Zur Theorie der Gesichtsempfindungen“ [1] gerade in erster Linie dem Nachweise gewidmet, dass die Hering'sche Theorie zur Annahme dieses Satzes genöthigt sei. Ich sage dort (S. 115) ganz gleichermaassen, es werde die Annahme erforderlich, dass „zwischen den fünf Urvalenzen zwei Bedingungsgleichungen bestehen, welche für alle Lichtwellenlängen gleichmässig erfüllt wären.“ [2]

Auch in Bezug auf den genaueren Inhalt dieser Bedingungsgleichungen besteht zwischen Hering und mir kein Widerspruch. Wichtig ist in dieser Hinsicht, dass die beschränkenden Bedingungen, welche die fünffach bestimmte auf eine dreifach bestimmte Mannigfaltigkeit reduciren, nicht etwa in der einfachen Form vorgestellt werden dürfen, dass Assimilations- und Dissimilationsvalenz sich ausschlössen, ein Licht bestimmter Wellenlänge stets nur entweder *A* oder *D* Valenz besässe. Dies hier noch besonders hervorzuheben bin ich dadurch veranlasst, dass Hering mit Vorliebe die *D* und *A* Valenzen mit positiven und negativen Werthen einer Coordinate vergleicht. Dieser Vergleich ist nur in ganz beschränkten Beziehungen zutreffend und legt immer den Irrthum nahe, als ob das System der Valenzen in der erwähnten, allerdings sehr einfachen Weise sich als ein dreifach bestimmtes auffassen lasse, ja als ein fünffach bestimmtes überhaupt nur fälschlich erscheine, wenn man aus Bequemlichkeitsgründen für die positiven und negativen Werthe verschiedene Bezeichnungen einführe. Dies wäre aber eine ganz irrthümliche Vorstellung; vielmehr muss,

---

[1] *Dies Archiv.* 1887. S. 113.

[2] Hering hätte demnach, wie mich dünkt, nicht nöthig gehabt, nachdem ich gezeigt, dass der Ermüdungssatz auf die Annahme zweier Bedingungsgleichungen zwischen den 5 Valenzen führe, mir auseinanderzusetzen, dass er sich unter einer derartigen Annahme als nothwendige Folgerung ergebe.

wie auch Hering ausdrücklich angegeben hat, angenommen werden, dass z. B. das gelbe Licht für die rothgrüne Sehsubstanz sowohl *D* als *A* Valenz besitzen. In der That also muss die Reduction der fünffach auf die dreifach besstimmte Mannigfaltigkeit in einer ganz anderen Weise gedacht werden, nämlich so, dass eine durchgängig (für alle Lichtwellenlängen) erfüllte Relation zwischen Weiss-, Roth- und Grünvalenz, ebenso eine zwischen Weiss-, Gelb- und Blauvalenz stattfindet. Welcher Art diese ist, lässt sich an dem dichromatischen System des Farbenblinden am leichtesten zeigen; die einfachste Form habe ich (a. a. O. S. 115) schon angedeutet, und sie ist genau dieselbe, welche auch Hering für seine geometrische Darstellung gewählt hat. Denkt man sich mit Hering (a. a. O. S. 500) die Valenzverhältnisse der verschiedenen Lichtarten der Schwerpunktsconstruction entsprechend auf einer geraden Linie aufgetragen und ist die Weissvalenz durch die der Abscisse parallele Werthlinie $\varphi\varphi$ dargestellt, so besagt dies, dass die Maasseinheiten der verschiedenen Lichter so gewählt sind, dass die Weissvalenz für alle die gleiche ist. Zugleich ist, da die Gelbvalenz eines Lichtes dem Abstand des ihm zugehörigen Punktes von dem einen Ende der Linie, die Blauvalenz dem Abstand von dem anderen Ende proportional ist, die Summe der Gelb- und Blauvalenz für alle Lichter die gleiche. Der Zusammenhang, der diese Darstellung der Weissvalenz durch eine der Abscisse parallele, der Gelb- und Blauvalenz durch zwei unter gleichem Winkel gegen die Abscisse geneigte gerade Linien ermöglicht, ist also der, dass die Weissvalenz dieselbe Function der Wellenlänge ist, wie die Summe der Gelb- und Blauvalenz.[1]

Eine positive Differenz besteht nun zwischen Hering und mir insofern, als ich die Nothwendigkeit der mehr erwähnten Annahme aus dem Ermüdungssatze hergeleitet habe, während Hering meint, sie ergebe sich schon aus dem Newton'schen Mischungsgesetze. Indessen besagt doch das Newton'sche Gesetz lediglich, dass man alle verschieden aussehenden (für die Empfindung verschiedenen) Lichter in einer Ebene darstellen könne, besagt also die dreifache Bestimmtheit der Empfindungseffecte, nicht aber der Reizqualitäten. Dass also alle Combinationen der Valenz-Verhältnisse sich auf einer Ebene darstellen lassen, ist erst eine Folgerung aus dem Newton'schen Gesetze, und zwar eine berechtigte nur dann, wenn man entweder nicht mehr als drei Valenzen annimmt, oder (bei Annahme von mehr als drei Valenzen) wenn man die weitere Voraussetzung einführt, dass Gleichheit des Empfindungseffectes nur bei

[1] Derjenige Zusammenhang, der die Darstellung der drei Valenzen durch drei beliebig gegen die Abscisse geneigte Werthlinien ermöglicht, ist natürlich der, dass die Weissvalenz für alle Lichtarten dieselbe lineare Function der Gelb- und Blauvalenz ist. ($W = \alpha G + \beta Bl.$)

Gleichheit sämmtlicher Valenzen stattfinde. Dies kann nun auf Grund des Ermüdungssatzes in der That behauptet werden; sehen wir aber von diesem ab, so erscheint es im Allgemeinen und insbesondere auch bei der von Hering angenommenen Art des Antagonismus von A und D Valenzen durchaus denkbar, dass z. B. ein Lichtgemisch weder A noch D Valenz, ein anderes gleichstarke A und D Valenz darstellt, also beide trotz gleichen Empfindungseffectes ungleiche Valenzen besitzen, mit anderen Worten, dass trotz der Giltigkeit des Newton'schen Gesetzes sich die sämmtlichen möglichen Reizqualitäten oder Valenzverhältnisse nicht in einer Ebene darstellen lassen.[1]

Uebrigens habe ich gar keine Veranlassung, diesen Punkt hier besonders zu urgiren; denn es kam mir überhaupt nur darauf an, die Nothwendigkeit jener Annahme (der zwei Bedingungsgleichungen) zu etabliren und auf die Bedeutung hinzuweisen, welche sie für die Hering'sche Theorie gewinnt. Was nun diese Bedeutung anlangt, so wird sie, wie mir scheint, wenn in dieser Hinsicht einmal Meinungsverschiedenheiten bestehen, kaum fruchtbar discutirt werden können. Es versteht sich von selbst, dass man sich, ohne über die der Hering'schen Theorie eigenthümlichen Vorstellungen hinauszugehen, mit der Annahme begnügen kann, die Beschaffenheit der Sehsubstanzen sei einmal so, dass dadurch jener Zusammenhang der verschiedenen Valenzen bedingt werde. Dem Ermessen jedes Physiologen

[1] Hering postulirt den Satz, dass Gleichheit der Empfindung nur bei Gleichheit sämmtlicher Valenzen bestehe, ohne jeden ersichtlichen Grund als einen unmittelbar selbstverständlichen. — Ich bemerke bei dieser Gelegenheit, dass Hering in einer ähnlich unberechtigten Weise auch den richtigen Satz, dass gleiche nervöse Processe (Erregungsvorgänge) die gleiche Empfindung ergeben müssen, dahin umkehrt, dass aus der Gleichheit der Empfindungen stets auf die Gleichheit der Erregungsvorgänge geschlossen werden müsse. Hering sagt (a. a. O. S. 493): „Wenn zwei physikalisch verschiedene Lichter uns mittels zweier Theile des Sehorgans von gleicher Erregbarkeit dieselbe Empfindung erzeugen, so müssen wir annehmen, dass die beiden Lichter in diesen beiden Theilen dieselbe Art und Weise des Erregungsvorganges bewirken. Sind die beiden Erregungen völlig gleich, so werden es auch die Empfindungen sein müssen.“ Man könnte durch diese Ausdrucksweise auf den Gedanken kommen, dass Hering den Inhalt des ersten und zweiten Satzes für aequivalent hält! Die Ausserachtlassung der Möglichkeit, dass auch ungleiche Erregungsvorgänge gleiche Empfindung bewirken, ist bei Hering um so befremdlicher, als er doch selbst der Meinung ist, dass „psychophysische Processe von sehr verschiedener Grösse dieselbe Empfindung geben können, weil es überall nicht auf die absolute Grösse derselben, sondern nur auf ihr Verhältniss ankommt.“ Ich erwähne diesen Punkt hier, nicht weil ich etwa selbst diese oder eine ähnliche Vorstellung für wahrscheinlich hielte, sondern nur beiläufig zur Rechtfertigung meiner, an der angeführten Stelle von Hering kritisirten älteren Arbeiten. Wer die hier gerügte Verwechselung vermeidet, wird die Unzulässigkeit der Hering'schen Argumentation leicht erkennen.

kann es überlassen bleiben, ob er dies thun oder aber diese Vorstellung als eine zu unwahrscheinliche, das Bestehen jener Bedingungsgleichungen als etwas zunächst ganz Räthselhaftes und zum Mindesten einer weiteren Erklärung Bedürftiges erachten will. Das letztere habe ich gethan und thue es noch. Wer mir hierin folgt, wird mir zustimmen müssen, dass durch den Mangel irgend einer Erklärung für jene die Valenzen verknüpfenden Bedingungsgleichungen die Theorie sich entweder als unhaltbar oder wenigstens wichtiger Umgestaltungen bedürftig erweist. Welcher Art diese sein müssen, liegt auf der Hand, es wird für einen mehr peripherwärts gelegenen Theil des Gesichtsapparates eine Beschaffenheit anzunehmen sein, vermöge welcher in ihm nicht sechs, sondern nur drei durch Licht influirbare Vorgänge ablaufen können. Denken wir uns diese Vorgänge als Träger der *A* und *D* Valenzen, so ist es verständlich, dass diese einen inneren Zusammenhang zeigen, dass die gesammte Mannigfaltigkeit der thatsächlich möglichen Combinationen eine nur dreifach bestimmte ist. Mit dieser Ergänzung ist dann aber auch bezüglich der Peripherie eben jene Vorstellung gewonnen, welche den Hauptinhalt der Young-Helmholtz'schen Lehre ausmacht. Demgemäss würde einzuräumen sein, dass, auch wenn man bezüglich der psychophysischen Vorgänge sich der Anschauung Hering's anschliesst, die Erklärung gewisser fundamentaler Thatsachen der physiologischen Optik doch erst in ganz andersartigen bezüglich der peripheren Vorgänge zu machenden Annahmen gefunden werden kann.[1]

---

[1] Ausdrücklich mag hierbei bemerkt werden, dass wenn man sich die Hering'sche Theorie in diesem Sinne durch die Annahme einer peripheren 3 componentigen Gliederung ergänzt denkt, es zunächst *in suspenso* bleiben könnte, ob man die Ermüdung des Sehorgans auf Variirungen dieses peripheren Theils oder der centralen Theile (der Hering'schen Sehsubstanzen) beziehen will. Auch das letztere wäre zulässig. Ich erwähne dies, weil ein Satz meiner „Entgegnung an Hrn. E. Hering“ (Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XLI. S. 389) vielleicht die Auffassung zulässt, als ob ich es gerade für unerlässlich hielte, die Ermüdungsvorgänge in einem 3 componentig gegliederten Theil des Gesichtsapparates zu localisiren. Ich habe dort gesagt (a. a. O. S. 396) „nur durch die Annahme, dass dem Licht nur drei verschiedene Reizwerthe zukommen und dass die Ermüdung auf der Variirung von drei Erregbarkeiten beruhe“, werde die besprochene Schwierigkeit fortfallen. Dieser Satz bezieht sich, wie die ganze Arbeit, nur auf die einfache Vorstellung, wie sie der Young-Helmholtz'schen sowohl als der Hering'schen Theorie eigenthümlich ist, dass nur eine Gliederung des Sehapparates in Betracht gezogen wird, wobei dann aus der Annahme von nur drei Processen sofort auch die Annahme von drei variirbaren Erregbarkeiten folgen würde. Lässt man einmal verschiedene Gliederungen des Apparates zu, so wird natürlich bei der Annahme eines peripheren 3 componentigen Theiles das Newton'sche Gesetz sowohl wie der Ermüdungssatz genügend erklärt erscheinen, auch wenn man sich die Umstimmungen in einem anderen Theile des Apparates stattfindend denkt.

Hering hat sich über diesen Punkt, bezüglich dessen ich eine Aeusserung von ihm in erster Linie gewünscht hätte, leider nicht ausgesprochen; er spricht, wie vorher angeführt, von einem „inneren Gesetz", welches die Valenzen verknüpft, aber er sagt Nichts darüber, in welcher Einrichtung des Gesichtsapparates dieses innere Gesetz seinen Grund finden möge. Unmöglich kann es seine Absicht sein, diese Frage damit abzulehnen, dass der in Rede stehende Zusammenhang der Valenzen sich aus dem Newton'schen Gesetze unmittelbar (und nicht, wie ich meine, erst unter Berücksichtigung des Ermüdungssatzes) ergebe. Auch das Newton'sche Gesetz ist doch eine Thatsache der physiologischen Optik, welche verständlich zu machen Aufgabe einer Theorie des Gesichtssinnes ist. Zwänge also wirklich schon das Newton'sche Gesetz zu der Annahme der mehrerwähnten Bedingungsgleichungen, so würde, falls die Theorie diese nicht befriedigend zu deuten weiss, schon das Newton'sche Gesetz durch die Theorie nicht erklärt sein. Ob wir also durch den Ermüdungssatz oder durch das Newton'sche Gesetz zu der Annahme der Bedingungsgleichungen gedrängt werden, das ist hinsichtlich des von mir gegen die Theorie erhobenen Einwandes völlig irrelevant.

Hiernach ist ersichtlich, dass die Hering'sche Arbeit lediglich die (übrigens nicht richtige) Behauptung enthält, dass die Schwierigkeit der Theorie, auf welche ich hinwies, aus anderen Thatsachen sich ergebe, als aus welchen ich sie folgerte, somit nichts weniger als eine Widerlegung meines Einwandes ist, vielmehr als solche nur dem erscheinen kann, der den Sinn desselben nicht verstanden hat. — Dass die dreifache Bestimmtheit des Systems der Valenzen stattfinden kann, auch wenn die Zahl derselben eine beliebig grosse ist, versteht sich von selbst; ich habe dies keineswegs übersehen, wie Hering meint, wenn er sagt, ich habe es unterlassen, das Newton'sche Gesetz „aus einem anderen Gesichtspunkte als dem der Young-Helmhotz'schen Theorie zu erwägen". Diese Erwägung führt mich vielmehr immer zu dem ganz unwidersprechlichen Resultat, dass jene dreifache Bestimmtheit mit der Natur des Gesichtsapparates unmittelbar gegeben und verknüpft erscheint, wenn nur drei Valenzen angenommen werden, während bei der Annahme von mehr als drei die thatsächlich nur dreifache Bestimmtheit ihrer möglichen Combinationen unerklärt und Gegenstand weiterer Frage bleibt. Und ich habe meinen Einwand nur deswegen nicht an das Newton'sche Gesetz, sondern an den Ermüdungssatz geknüpft, weil die Hering'sche Theorie die dreifache Bestimmtheit des Systems der Empfindungen von Anfang an ergab, die dreifache Bestimmtheit der durch Licht hervorzurufenden Erregungsvorgänge ebenfalls durch eine Hypothese über den Antagonismus assimilirender und dissimilirender Valenzen verständlich zu machen suchte, nur für die dreifache

Bestimmtheit des Systems der Valenzen gar keine Erklärung liefert. Vielleicht hält Hering eine Erklärung der Thatsache, dass das System der optischen Valenzen, obgleich deren fünf angenommen werden, doch nur ein dreifach bestimmtes ist, für ausserhalb der Aufgabe liegend, welche er seiner Theorie steckt. Sobald er dies ausspricht, würde ich den Zweck meiner Erörterungen für vollkommen erreicht halten. Ob das Ergebniss alsdann eine Widerlegung oder eine Anerkennung meiner Einwände darstellen würde, darüber wird sich ja jeder Leser, der sich aus litterarischen oder persönlichen Gründen dafür interessirt, sein Urtheil bilden können.

Da, wie gezeigt, die nur dreifache Bestimmtheit des Systems der Valenzen nunmehr als beiderseitig anerkannt gelten kann, und nachdem ich meine Ansicht von der theoretischen Bedeutung dieser Thatsache nochmals in einer, wie ich hoffe, jedes Missverständniss ausschliessenden Weise ausgesprochen habe, erachte ich die durch die neuerliche Discussion des Ermüdungssatzes mir erwachsene Aufgabe für erledigt.

Nachtrag.

Während die obige Mittheilung zum Druck gegeben war, ist eine weitere mich betreffende Publication Hering's erschienen und darin zugleich eine Anzahl noch weiterer angekündigt. Ich bemerke demgemäss, dass ich, wie erwähnt, mich zu der vorstehenden Notiz nur im Hinblick auf ein bestimmtes in der Discussion zu Tage getretenes Ergebniss entschlossen habe, im Uebrigen es ganz und gar nicht meine Absicht ist, mit Hering in eine fortlaufende öffentliche Erörterung zur Genüge besprochener Gegenstände einzutreten. Wenn ich demnach Hering im Allgemeinen das letzte Wort lassen werde, so bitte ich dies nur in dem Sinne zu deuten, dass ich über die betreffenden Punkte mich hinlänglich ausgesprochen zu haben glaube, nicht in dem, als ob ich auf Hering's Ausführungen Nichts zu erwidern hätte. Die Berechtigung dieses Verfahrens wird derjenige anerkennen, der sich mit der Art und Weise der Hering'schen Polemik im Gebiete der physiologischen Optik (nicht mir allein gegenüber) bekannt gemacht hat. Ich denke hierbei nicht einmal in erster Linie an den Ton, in welchem Hering schreibt, sondern vor Allem an die Willkürlichkeiten und logischen Seltsamkeiten, welche seine Argumentationen aufweisen. Einige Beispiele mögen illustriren, was ich hiermit meine. In seiner ersten polemischen Arbeit[1] behauptete Hering, die Wirksamkeit des gelben Lichtes auf die

---

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XLI. S. 32.

(nicht neutral gestimmte) rothgrüne Substanz habe schon daraus gefolgert werden können, dass gelbes Licht nach Einwirkung von rothem Licht grünlich, nach Einwirkung von grünem Licht röthlich erscheint. Jedermann weiss aber, dass nach Einwirkung von rothem oder grünem Licht Grün resp. Roth auch ohne Einwirkung von gelbem Licht (im verdunkelten Auge) gesehen wird. Die Wirksamkeit des gelben Lichtes auf die rothgrüne Substanz kann also jener einfachen Thatsache durchaus nicht ohne Weiteres entnommen werden.[1] — In der obigen Mittheilung wurde schon erwähnt (S. 383, Anmerkung), in wie unzulässiger Weise von Hering die beiden Sätze, dass gleiche nervöse Vorgänge gleiche Empfindungen ergeben, und dass gleiche Empfindungen stets durch gleiche nervöse Processe bedingt sind, durch einander geworfen werden. — In seiner neuesten Arbeit bespricht Hering die Annahme, dass die Beleuchtung einer Netzhautstelle die Erregbarkeit benachbarter Nervenfasern modificire, und die, dass sie in den benachbarten Theilen eine reichlichere Ernährung anrege. Er sagt, diese beiden Annahmen schlössen, vom Standpunkte der Young'schen Hypothese betrachtet, sich aus; denn nach dieser „würde die Herabsetzung der Erregbarkeit für die Licht- oder Farbenempfindung das Gegentheil von dem herbeiführen, was durch die Steigerung der Assimilirung bewirkt werden müsste. Bedenken wir zunächst nur den Helligkeitscontrast, so würde die Herabsetzung der Erregbarkeit in der Nähe der durch weisses Licht gereizten Netzhautstelle eine scheinbare Verdunkelung bedingen, während die Steigerung der Assimilirung oder „Ernährung“ der lichtempfindlichen Substanz vielmehr eine immer mehr anwachsende Zunahme der Erregbarkeit und also eine scheinbare Erhellung der gar nicht oder schwächer gereizten Stelle herbeiführen müsste. Dies sind also zwei sich widersprechende Annahmen . . . .“[2] Mit ähnlichem Recht könnte etwa ein Pharmakologe behaupten, es seien zwei sich ausschliessende Annahmen, dass eine Substanz die Intensität der thierischen Oxydationen vermehre und zugleich die Hautgefässe erweitere, weil man zufolge der ersteren Annahme eine Steigerung, zufolge der letzteren aber eine Verminderung der Körpertemperatur zu erwarten habe.[3] Derartig lockeren Beweisführungen gegenüber ist die

[1] Der Schluss ist selbst dann unzulässig, wenn man von der Vorstellung ausgeht, dass die Erscheinungen des successiven Contrastes lediglich auf Veränderungen der Erregbarkeit zurückzuführen sind. Denn wenn man dies thut, so kann man ja niemals unterlassen auch die veränderte Wirkung der sogenannten inneren Reize zu berücksichtigen; demgemäss bleibt denkbar, dass das modificirte Aussehen des gelben Lichtes gar nicht auf einer Veränderung seines Reizerfolges beruht.

[2] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XLIII. S. 283.

[3] In der That sind die beiden erwähnten Annahmen sowohl unter einander als mit den Thatsachen sehr wohl zu vereinbaren, wenn man annimmt, dass im Effect der erst erwähnte verdunkelnde Einfluss überwiegt. Sobald das Licht einzuwirken auf-

Kritik nicht schwierig, aber, wie ich glaube, auch nicht erforderlich. Ich für mein Theil gedenke, falls nicht wieder irgend eine besondere Veranlassung dazu vorliegt, mich nicht damit zu befassen. Demgemäss werde ich Hering's Publicationen über mich ergehen lassen, ohne ein anderes Gefühl als das des Bedauerns, zu dieser weder inhaltlich noch formell erfreulichen Bereicherung unserer Litteratur die unschuldige Veranlassung gewesen zu sein. Je heftiger Hering's Angriffe werden, um so mehr werde ich hoffen dürfen, dass man auch in weiteren Kreisen die Frage erwägt, ob Hering sich in Angelegenheiten der physiologischen Optik noch diejenige Ruhe und Objectivität bewahrt hat, welche für eine richtige Beurtheilung fremder Arbeiten und eine wissenschaftliche Discussion unumgängliche Voraussetzung ist.

---

hört, würde die eingetretene Vermehrung der Sehstoffe sich bemerklich machen. Es bestehen hier keine Schwierigkeiten, die nicht bei der Hering'schen Theorie in ganz ähnlicher Weise vorlägen. Ich hatte damals keine Veranlassung, diese Dinge genauer auszuführen, weil ich überhaupt nur ganz allgemein die Möglichkeit derartiger Vorstellungen auch auf dem Boden der Young-Helmholtz'schen Theorie anzudeuten wünschte.

Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin.

Jahrgang 1887—88.

VIII. Sitzung am 10. Februar 1888.[1]

Hr. H. Virchow legt einen gefärbten Gypsabguss der Glutealgegend vor.

Dieser Abguss ist durch Abformung an der Leiche direct gewonnen von dem Körper eines tadellos gebauten Mannes, bei Seitenlage der Leiche, also leichter Adductionsstellung des Beines; er umfasst den Gluteus maximus und Tensor fasciae latae sammt dem dazwischengelegenen Theil der Fascie bis zum Darmbeinkamme herauf; bringt zur Anschauung die senkrecht vom Rollhügel bis zum Darmbeinkamme aufwärts steigende Furche, welche unter gewissen Bedingungen, insbesondere bei „hängender Stellung", auf der Seite des vorwiegend belasteten Beines sichtbar wird. Hierzu wird das Folgende bemerkt:

Die erwähnte Furche, am Lebenden ziemlich breit, vorn und hinten sanft abgerundet, bei mageren Personen deutlicher sichtbar als bei fettreichen, liegt zwischen dem oberen Rande des Gluteus maximus und dem hinteren des Tensor fasciae latae. Sie hat weder mit dem einen noch mit dem anderen etwas zu thun; auch nicht mit dem vorderen Rande des Gluteus medius. Der obere Rand des Gluteus maximus ist am Lebenden überhaupt nur selten und dann auch nur schwach bemerkbar, im Allgemeinen selbst bei starker Action des genannten Muskels verborgen, dagegen tritt eine Furche, dem hinteren Rande des Tensor entsprechend, wohl hervor. Lässt man nämlich aus „hängender Stellung", bei welcher der Körper auf dem rechten Beine ruhen mag, die Last nach links übertragen und das rechte Bein seit- und etwas vorwärts heben, so schwindet die erwähnte flache Furche, und es tritt eine neue schmale, schärfere Furche am hinteren Rande des wulstig hervortretenden Tensor auf.

Die in dem Abguss festgehaltene Furche verdankt nicht einer durch Muskelspannung bedingten Wulstung ihre Erscheinung, sondern der durch An-

---

[1] Ausgegeben am 2. März 1888.

drängen des Trochanters bedingten Spannung eines Streifens der Fascie, der sich jedoch durch nichts von den angrenzenden Theilen der Fascie unterscheidet. Dieser so gespannte Zug wird in den Gluteus medius eingedrückt, der dadurch in zwei Wülste zerfällt, einen kleinen vorderen, der mit dem Tensor und einen grösseren hinteren, der mit dem Gluteus maximus in einen gemeinsamen Wulst zusammengeht. Der mechanische Werth dieser Spannung liegt, wie klar ersichtlich, in dem Widerstande gegen eine weitere seitliche Durchdrückung bei „hängender“ Stellung.

Es kann erscheinen, als sei der erwähnte Streifen der Fascie gleich dem oberen Theile des Ligamentum ileotibiale H. v. Meyer's, von dem dieser Anatom sagt, dass es „von der Spina anterior superior Cristae ossis ilium und von dem nächsten Theile der Crista selbst entspringt und sich als beinahe fingerdicker Strang an die Tibia . . . ansetzt.“ (*Dies Archiv*, 1853, S. 33; — H. v. Meyer citirt sich selbst ungenau in der Statik und Mechanik). Henle *Muskellehre*, II. Aufl., S. 274) bestreitet die Isolirbarkeit eines solchen Streifens, wobei er sich allerdings nicht genau auf die Worte von H. v. Meyer bezieht. Henle vertritt hier mit Recht den Standpunkt des beschreibenden Anatomen; andererseits ist aber auch die Darstellung v. Meyer's werthvoll, da sie, wenn auch in künstlicher Begrenzung, einen Zug der Fascie heraushebt, dessen mechanische Bedeutung gerade durch die Isolirung klar gelegt wird. In vorliegender Mittheilung wird aber auf die Aeusserungen beider Autoren nicht deswegen Rücksicht genommen, um nach der einen oder anderen Seite hin ein bestätigendes Urtheil abzugeben, sondern um die obenstehende Schilderung gegen das Missverstandenwerden zu schützen, welches durch Erinnerung an das Meyer'sche „Ligamentum ileotibiale“ entstehen könnte. Die hier erwähnte Furche nämlich und damit der sie bedingende Zug der Fascie geht, um es zu wiederholen, nicht von der Spina anterior superior und dem unmittelbar sich anschliessenden Theile des Darmbeinkammes aus, sondern liegt zwei bis drei Querfinger hinter dem Rande des Tensor. Anatomisch ist derselbe in nichts von den unmittelbar davor und dahinter liegenden Theilen der Fascie unterschieden; der mechanische Werth dieses Streifens, wie er oben berührt ist, würde natürlich gleichfalls eine Isolirung dieses Streifens und eine besondere Benennung etwa als eines „hinteren oberen Schenkels des Ligamentum ileotibiale“ rechtfertigen. Mit anderen Worten, es wird gut sein, bei derartigen künstlichen Sonderungen anatomisch einheitlicher Gebilde, wie es die starke Fascie an der lateralen Seite des Oberschenkels ist, immer den besonderen Gesichtspunkt hinzuzufügen, unter welchem eine solche Isolirung berechtigt ist.

Eine Verwechselung der besprochenen Furche mit der hinter dem Trochanter gelegenen grossen, dem Sehnenspiegel des activ gespannten Gluteus maximus entsprechenden Grube ist wohl nicht zu besorgen.

IX. Sitzung am 24. Februar 1888.[1]

Hr. H. VIRCHOW demonstrirt einen Gypsabguss der praeparirten Hüftgegend nach einem Praeparat von einem 27jährigen Mädchen, welches, durch reichliche Fettentwickelung der Oberschenkel und der Hüftgegend ausgezeichnet, zwar keine schönen Formen darbot, wohl aber in charakteristischer Weise den derben weiblichen Typus darstellte. Bei der Praeparation und Abformung war die Leiche aufgehängt, die Beine in der Haltung des aufrechten Stehens, die Fersen in Berührung, die Fussspitzen von einander entfernt. Die Praeparation wurde bei niederer Temperatur in ungeheiztem Raume ausgeführt, damit bei völliger Steifheit des Fettes und der Muskeln gar keine Verlagerung der praeparirten Theile stattfinden könnte. Hr. Stud. med. Wasmuth führte den grössten Theil der Praeparation aus. An diesem Praeparate wurde rechts hinten der M. gluteus maximus, vorn der Tensor fasciae latae und Stücke des Sartorius, Rectus femoris, Pectineus und Adductor longus; links Gluteus medius, Pyriformis, Obturator internus mit Gemelli, Quadratus femoris, Stücke des Obliquus abdominis externus, Erector trunci, Biceps femoris, Vastus lateralis, Rectus femoris, Sartorius, der Rectus-Scheide, Fascia lumbodorsalis und Fascia lata freigelegt; der M. tensor fasciae latae blieb auf dieser (linken) Seite nur in seinem Ursprungs- und Ansatzstücke erhalten. Dadurch, dass rings um die genannten Theile Haut und Fett erhalten sind, ist die Beziehbarkeit auf den vorher genommenen Abguss der noch nicht praeparirten Hüftgegend gewahrt.

Auffallend ist an diesem Abguss, welcher, wie gesagt, die Theile entsprechend der aufrechten Haltung zeigt, ein über Erwarten steiler Verlauf des M. obliquus abdominis externus. Ebenso ist der Verlauf des M. gluteus medius steiler als man es sich nach dem Anblick des liegenden Praeparates vorzustellen gewohnt ist, und der genannte Muskel zeigt sich dadurch recht deutlich als Abductor. Im Zusammenhange mit dem Anblicke, welchen derselbe bei der dargestellten Haltung bietet, gewinnt ein Verhältniss Bedeutung, welches, in den Lehrbüchern nicht erwähnt, an dem vorliegenden Abgusse klar ist. Der vordere Abschnitt des Muskels nämlich, d. h. diejenigen Bündel, welche von der Fascie unterhalb der Spina, von der Spina selbst und noch etwa zwei Querfinger hinter derselben entspringen, vertheilen sich auf den ganzen oberen Rand des Trochanter; die Bündel dagegen, welche den mittleren und hinteren Abschnitt zusammensetzen, drängen sich gegen das hintere Ende des oberen Trochanter-Randes zusammen, was nur dadurch ermöglicht wird, dass sie fiederartig in einer fast verticalen Linie zuammenstossen. Eine entsprechende Anordnung hat zweifellos der Figur 317 von Sappey (*Traité d'anatomie descriptive*) zu Grunde gelegen, doch entspricht die erwähnte Abbildung nicht genau dem hier besprochenen Verhalten, ist auch im Texte nicht genauer erläutert. Die in dem vorgelegten Abguss festgehaltene Anordnung des mittleren Gesässmuskels lässt mithin deutlich hervortreten, dass der vordere Abschnitt kräftig einwärts rotirt, vom mittleren und hinteren Abschnitte dagegen wesentlich eine abducirende Wirkung und nur in geringem Maasse eine auswärts rotirende zn erwarten ist. Fast noch mehr gewinnt man für das Verständniss der Fascia lata. Auf der einen Seite ist unmittelbar hinter der

[1] Ausgegeben am 2. März 1888.

Stelle des Tensor ein fingerbreiter Streifen der Fascie stehen geblieben, also etwa dem oheren Stück des Ligamentum ileotibiale v. Meyer's entsprechend. In der straffen Spannung desselben bei herabhängendem Beine sprach sich auf's deutlichste die wichtige Rolle aus, welche dieser Theil der Fascie bei aufrechter Haltung zu erfüllen hat. Das nach der Entfernung des Tensor in der Tiefe sichtbar werdende Blatt der Fascie, welches sich am unteren Ende des Tensor mit dem oberflächlichen verbindet, war gleichfalls straff gespannt. Erwähnenswerth dürfte auch sein, dass der Nervus ischiadicus sich bei der dargestellten Haltung, d. h. bei herabhängendem Beine, fest gespannt zeigte, woraus zu schliessen ist, dass er bei vorgebrachtem Beine, als z. B. beim Gehen, recht erheblich gegen den M. obturator internus und Quadratus fermoris angedrückt und straff gezogen wird.

Von der gleichen weiblichen Leiche sind noch weitere Abformungen gemacht, nämlich von der Schultergegend a. mit Haut-Bedeckung, b. nach Praeparation der Muskeln; und von der seitlichen Brust- und Bauch-Gegend a. mit Haut-Bedeckung, b. nach Entfernung der Haut, c. nach Entfernung des Pectoralis major und Obliquus externus, d. nach Entfernung aller Muskeln mit Ausnahme der Intercostales.

2. Hr. H. Virchow hält den angekündigten Vortrag: Ueber die Striae acusticae des Menschen.

In der vorhergehenden Sitzung besprach und demonstrirte Hr. B. Baginsky frontale Schnitte durch die Medulla oblongata der Katze aus der Gegend der hinteren Acusticus-Wurzel (N. cochleae), auf welchen neben Anderem sehr deutlich Faserzüge bemerkbar waren, welche, in der Gegend des Tuberculum acusticum zu dem N. cochleae in Beziehung treten und weiterhin an der dorsalen und dann der medialen Seite des C. restiforme verlaufend zur oberen Olive der gleichen Seite hinabbogen; welche also in ihrem lateralen Verlaufe den Striae acusticae des Menschen glichen, in ihrem medialen Stück dagegen sich wesentlich von ihnen unterschieden. Etwas den Striae acusticae des Menschen Analoges, d. h. Faserzüge, welche bis zur Mittellinie am Boden der Rautengrube verlaufen und dann in die Raphe einbiegen, sind von Hrn. Baginsky, wie er auf meine Anfrage erklärte, nicht beobachtet. Um den Unterschied zwischen den erwähnten Faserzügen bei der Katze, welche ich an den Praeparaten durch freundliches Entgegenkommen des Hrn. Baginsky nachher noch privatim zu sehen Gelegenheit hatte, und den Striae acusticae des Menschen klar zu halten, soll hier an dasjenige erinnert werden, was man von den Striae acusticae weiss und vermuthet.

Bei der makroskopischen Betrachtung des Bodens der Rautengrube zeigen sich die Striae acusticae in gewissen Fällen als starke Querstreifen, welche am lateralen Ende in den N. acusticus übergehen, am medialen in dem Sulcus longitudinalis verschwinden. Daraus, dass dieselben, wie angegeben wird, in seltenen Fällen ganz fehlen, wird man nicht die Folgerung ziehen können, dass sie zufällige Bildungen seien, sondern vielmehr, dass, wie das Gleiche ja auch bei manchen anderen Bildungen am Centralnervensysteme vorkommt, die ihnen entsprechenden Faserzüge gelegentlich zerstreut und mehr in der Tiefe verlaufen. Die Abweichungen, die an den Striae acusticae beschrieben sind, betreffen den mittleren Verlauf derselben sowie die laterale und mediale Endigung, worüber

Henle (*Nervenlehre* S. 205) einiges zusammengestellt hat. Die Striae acusticae im Ganzen können in mehrere (bis zu 12) Streifen getheilt sein, bei ihrer Annäherung an die Mittellinie stark, namentlich nach vorn auseinanderweichen; das mediale Ende erreicht nicht immer die Medianfurche, kann aber auch, wie es heisst, dieselbe überschreiten; am lateralen Ende hat man Bestandtheile in die Brücke eintreten, ja sich dem Glossopharyngeus zugesellen gesehen. Diese Angaben über das makroskopisch Sichtbare mit den Mittheilungen über die Schnittbilder vergleichend kann man die Bemerkung nicht unterdrücken, dass makroskopische und mikroskopische Untersuchung hier nicht genügend in Verbindung gesetzt sind, und man wird es für geradezu gefordert ansehen, dass eine Anzahl von Fällen, bei denen das makroskopische Bild zuvor genau festgestellt ist, nachher mit Hülfe von fortlaufenden Schnitten untersucht werde.

Die mir zur Verfügung stehenden frontalen Schnitte nun sind nicht im Hinblick auf diese besondere Frage gemacht, und wenn sie auch einer Serie angehören, so fehlt doch zwischen je zwei Schnitten eine ganze Anzahl (fünf) anderer. Trotzdem geben sie ein sehr klares Bild. Die Stria acustica verläuft als ein starker, mit freiem Auge sofort erkennbarer Streifen vom N. acusticus bis zur Mittellinie. Wenn daher Pierret und ihm sich anschliessend Duval (citirt nach Schwalbe's *Neurologie*) behaupten, die Striae acusticae seien nur bis zum Kern der Eminentia teres zu verfolgen, so kann dieser Behauptung eben nur ein ungünstiges Praeparat zu Grunde liegen, wie solches ja auch sehr wohl bei der grossen Variabilität des besprochenen Faserzuges dem einzelnen Beobachter in die Hände kommen mag. An der Mittelebene angelangt, biegt sodann die Stria acustica ventralwärts in die Raphe ein; diese Einbiegung liegt an meinen Praeparaten weiter vorn als das laterale Stück der Stria. Die einbiegende Fasermasse ist so mächtig, dass dadurch die Raphe im Ganzen anschwillt, und es sieht so aus, als wenn dieses Bündel weit in der Raphe ventralwärts hinabsteigt. In welcher Weise jedoch von da aus ein Uebergang auf die andere Seite vor sich geht, das wird man an Schnitten von der M. oblongata des erwachsenen Menschen nicht erwarten können zu entscheiden. Hier müssen vielmehr die sämmtlichen für die Verfolgung markhaltiger Bahnen in Verwendung gezogenen Untersuchungsmethoden sich ergänzend die Hand reichen. Neuere Mittheilungen, insbesondere solche von v. Monakow und von Edinger lassen sich in befriedigender Weise vereinigen.

v. Monakow stellte mit Hülfe der Abtragung einer Rindenpartie aus der rechten Hörsphaere und Abtrennung der rechten unteren Schleife vom hinteren Zweihügel am Tage der Geburt fest (S. Referat im *Neurolog. Centralblatt* 1887, S. 201), dass der eine Theil der Acusticusbahn folgenden Weg hat: Tuberculum acusticum — Striae acusticae („Striae acusticae“ bei der Katze!) — Kreuzung in der Raphe — untere Schleife und dorsales Mark der oberen Olive — Corpus geniculatum mediale — corticale Hörsphaere. Edinger hat an einem ganz anderen Materiale, an Embryonen und jungen Thieren von Amphibien und Reptilien, einen Faserzug nachgewiesen, welcher, vom Zwischenhirn herabkommend, in der M. oblongata in Fibrae arcuatae internae umbiegt, welche die Mittellinie überschreiten und zu Strängen gesammelt in die Kerne der sensiblen Nerven eintreten (*Anatom. Anzeiger* 1887. S. 145). Diese „centrale sensorische Bahn“ (Edinger) ist nach der Meinung dieses Autors

identisch mit einem Theile dessen, was man beim Menschen Schleife nennt. Edinger deutet an, dass die Striae acusticae in das Bereich dieser Bahn gehören könnten.

Die erwähnten Mittheilungen v. Monakow's und Edinger's leiten die Aufmerksamkeit auf eine centrale Acusticus-Bahn, welche, wie die von Hrn. Baginsky neuerdings bei der Katze berücksichtigte und früher von demselben und von anderen beim Kaninchen verfolgte gekreuzt ist, jedoch ihre Kreuzung an anderer Stelle erfährt. Es gäbe demnach, wie auch Edinger a. a. O. hervorhebt, zwei gekreuzte Verbindungen des Acusticus mit höheren Centren.

Von Bedeutung für das Verständniss der Striae acusticae ist, dass dieselben sehr spät markhaltig werden (Bechterew; cit. *Neurolog. Centralblatt* 1887 S. 194 Anm. 3) und daher nicht als directe Fortsetzungen der Wurzelfasern des Hörnerven aufgefasst werden können.

Die Mittheilungen von Bechterew (*Neurolog. Centralblatt* 1887 S. 194) fordern aber noch zu einer weiteren Unterscheidung auf, indem darin von einem medialen („inneren“) Theil (oder Ast) der hinteren Wurzel des Hörnerven gesprochen wird, welcher in Form von Bogenfasern durch den dorsalen Theil der Formatio reticularis in der Nachbarschaft der Raphe gelegen ist. Diese Fasern dürfen, wie Bechterew sagt, nicht mit den Striae acusticae verwechselt werden.

XI. Sitzung am 23. März 1888.[1]

1. Hr. Dr. Claude du Bois-Reymond (a. G.) hielt den angekündigten Vortrag über das Photographiren der Augen bei Magnesiumblitz.

Wie gross die Pupille des Menschen in völliger Dunkelheit sei, konnte man früher nur beim Licht von Blitzen oder des Leidener Funkens beobachten, wobei Messungen natürlich nicht möglich waren.

Jetzt ist durch die Erfindung der Magnesiumblitz-Photographien durch die HH. Miethe und Gädicke ein sehr einfaches Mittel hierzu gegeben. Das Blitzpulver, eine feinkörnige Mischung von Salpeter und Magnesium, verbrennt in so kurzer Zeit und mit solcher Lichtentwickelung, dass ein Photogramm des Auges im völlig dunkeln Raum aufgenommen werden kann, welches die Pupille noch in höchster Erweiterung zeigt. Der Beginn ihrer Lichtreaction fällt erst in die nachfolgende Dunkelheit.

Den Erfindern war dies schon bei ihren ersten Aufnahmen von Menschen aufgefallen; die Augen zeigten einen eigenthümlichen, etwas starren Ausdruck, weil der Zustand der Pupillen nicht, wie wir ihn sonst zu sehen gewöhnt sind, der Helligkeit des übrigen Bildes entspricht. Als ich Hrn. Astronom Miethe auf die Bedeutung des Gegenstandes aufmerksam machte, hatte er die Freundlichkeit, die vorliegenden Aufnahmen für mich herzustellen. Sie zeigen sein eigenes Auge in Naturgrösse, nach $^1/_4$ stündiger Ruhe im Dunkeln.

[1] Ausgegeben am 20. April 1888.

Die Iris erscheint als ein durchschnittlich etwa 1·5 mm breiter Saum. Im horizontalen Meridian beträgt der Durchmesser der Pupille 10 mm, bei 13 mm Hornhautbreite. Ich habe den Versuch auch selbst mit dem gleichen Erfolg angestellt, da aber Hrn. Miethe's Bilder technisch besser gelungen sind, Ihnen lieber diese vorgelegt.

Das Verfahren hat aber noch eine höhere Bedeutung für die Photographie des Auges. Meine früheren Versuche, Augen aufzunehmen, misslangen immer mehr oder weniger durch folgendes Dilemma. Bei gewöhnlicher Beleuchtung bedarf man einer längeren Exposition, und die Unruhe des Objectes verdirbt das Bild, zu Momentaufnahmen dagegen ist eine Helligkeit erforderlich, bei der jeder Mensch die Lidspalte zu verengern genöthigt ist. Diese Schwierigkeit ist durch das neue Verfahren auf die einfachste Weise gehoben. Endlich ist, durch die Beseitigung der Pupillenenge und der Augenbewegungen, — während die Beleuchtung doch fast unbegrenzte Steigerung zulässt — zur Lösung einer noch höheren Aufgabe, der ophthalmoskopischen Photographie, ein grosser Schritt gewonnen.

2. Hr. Gad hielt den angekündigten Vortrag: **Ueber Trennung von Reizbarkeit und Leitungsfähigkeit des Nerven nach Versuchen des Hrn. Sawyer.**

Es ist kein Zweifel, dass die eigentliche Function der Nervenfasern darin besteht, den Erregungszustand von dem einen ihrer Endapparate zu dem anderen fortzuleiten. In dem Laufe des gewöhnlichen Geschehens ist nie eine mittlere Stelle eines Nerven Ort der Reizaufnahme, vielmehr ist die Erregung, welche im Nerven fortgeleitet wird, stets in einem Nervenendapparat entstanden, in einem central gelegenen bei centrifugalen Nervenfasern, in einem peripherischen bei centripetalen. Erwächst uns nun aber die Aufgabe, den zeitlichen Verlauf des Schwindens der Functionsthätigkeit bei Nerven zu verfolgen, welche nach ihrer Durchschneidung der Degeneration verfallen, — wie es im Verfolg meiner in Gemeinschaft mit Hrn. Dr. Joseph fortgesetzten Untersuchungen über die Trophik der Nerven der Fall war — so sind wir darauf angewiesen, abweichend von der Norm, den Reizort in die Nervenfaser selbst zu verlegen und wir müssem der Frage näher treten, welche Schlüsse wir aus der Abnahme des Erfolges dieser Reize auf das Verhalten der eigentlichen Function der Nerven machen dürfen.

Die grosse Fülle der grundlegenden Erfahrungen über die Erscheinungen, welche mit dem Erregungszustand von Nervenfasern verbunden oder welche seine Folgen sind, wurden an Nerv-Muskelpraeparaten gewonnen, indem die Nervenerregung durch Reizung der Nervenfasern in ihrem Verlauf erzeugt wurde. Man ging hier stillschweigend von der nächsliegenden Annahme aus, dass die Fähigkeit der Nervenfaser, den Erregungszustand zu leiten und die Fähigkeit derselben, an jeder beliebigen Stelle ihres Verlaufes durch äussere Einwirkungen in Erregung versetzt zu werden, Ausdrucksweisen derselben fundamentalen Constitution der Nervenfasersubstanz und in Folge dessen untrennbar mit einander verbunden seien. Die Behauptung, dass eine Trennung beider Fähigkeiten vorkomme, ist zuerst von Schiff im Jahre 1854 an allgemein zugänglicher Stelle

ausgesprochen worden. In einer Mittheilung an die Pariser Akademie, welche auf Seite 926 des 38. Bandes der *Comptes rendus* abgedruckt ist, berichtet er über Versuche, aus denen hervorgeht, dass die graue Substanz des Rückenmarkes Erregungen, welche ihr auf Nervenbahnen zugeleitet werden, derart weiter leite, dass der schliessliche Effect Empfindung oder Reflexbewegung sei, dass aber alle directen Angriffe mit nervenreizenden Mitteln auf die graue Substanz selbst erfolglos seien. Schiff drückte dies so aus, dass er sagte, die graue Substanz des Rückenmarkes sei nicht „sensibel", sondern „aesthesodisch", und es konnte zunächst zweifelhaft erscheinen, ob es sich um eine besondere Eigenschaft handele, welche die Nervenfasern selbst der grauen Substanz von anderen Nervenfasern unterscheide oder um besondere Bedingungen, welche in der Verbindung dieser Nervenfasern mit nervösen Schaltstücken, — Ganglienzellen — enthalten seien. Schiff's eigene Ansicht hierüber trat klar hervor, als er in seinem vom Jahre 1858 datirten *Lehrbuche der Physiologie* Versuche mittheilte, auf Grund deren er die Längsfasern der weissen Vorderstränge in einem analogen Sinne nicht für „motorisch", sondern für „kinesodisch" erklärte (Seite 286). In diesem Buche, auf Seite 169, beschreibt Schiff auch ein Verfahren, — leider nicht mit einer, der Wichtigkeit der zu constatirenden Thatsache entsprechenden Bestimmtheit — um in dem peripherischen motorischen Nerven „die Fähigkeit der Aufnahme des Reizes künstlich zu schwächen oder nahezu zu vernichten, unbeschadet der Leitungsfähigkeit." Er scheint beobachtet zu haben (vgl. Seite 92 des angezogenen Buches), dass der Schenkelnerv vom Hunde in starkem Anelektrotonus noch Erregung geleitet habe, zur Zeit als er in der Nähe der Anode starke Reize aufzunehmen unfähig war.

Die ersten, deutlich beschriebenen experimentellen Beobachtungen, aus denen die Trennbarkeit des Leitungsvermögens für Erregung von der Fähigkeit der Reizaufnahme, an der peripherischen Nervenfaser, mit Sicherheit hervorgeht, verdanken wir H. Munk. In dem dritten Theile seiner „Untersuchungen über die Leitung der Erregung im Nerven", welcher im Jahrgang 1862 *dieses Archivs* erschienen ist, zeigte es sich, beim Verfolgen des Erregungsmaximums am absterbenden Ischiadicus des Frosches, dass die Verästelungsstellen zu Zeiten den elektrischen Reiz nicht mehr aufzunehmen im Stande sind, wo ihre Fähigkeit die Erregung zu leiten durch den Erfolg weiter central applicirter Reize bewiesen werden kann. Die Versuche wurden so ausgeführt, dass in regelmässigen zeitlichen und räumlichen Intervallen der Ischiadicus absteigend und aufsteigend mit übermaximalen Reizen abgetastet und dass die den einzelnen Reizungen entsprechenden Zuckungshöhen gemessen und in Reihen angeordnet wurden. Diese Reihen zeigten nun bei einigen Experimenten von einer gewissen Ordnungszahl der Versuchsreihe an Knickungen, welche Verminderungen des Erregungsmaximums bei Reizung jener ausgezeichneter Stellen entsprachen und welche mit dem Wachsen der Ordnungszahl der Versuchsreihe derart zunahmen, dass bei Application des stärksten möglichen Reizes an den ausgezeichneten Stellen der Effect Null wurde, während der Reizung der anderen — auch der centralen gelegenen Stellen — noch erhebliche Erregungsmaxima entsprachen. Versuche, welche dieses Verhalten zeigen, sind: XXXII, Reihe 4; XXXIV, Reihe 5; XXXV, Reihe 6, 8, 10; XXXIII, Reihe 6 (S. 21—24). Diese werthvollen Beobachtungen waren bisher von Munk selbst nicht im Interesse der uns beschäftigenden Frage verwerthet worden und es

wird dadurch erklärlich, dass sie auch von den Forschern, welche sich öffentlich mit dieser Frage beschäftigt haben, nicht berücksichtigt worden sind.[1]

Aus einer abfälligen Kritik von Meissner in seinem 1867 erschienenen Jahresbericht für die Jahre 1865—1866 S. 392 über eine von Grünhagen in den „Bemerkungen über die Summation von Erregungen" (*Zeitschrift für rationelle Medicin* XXVI, S. 190) ausgesprochene Ansicht, nach welcher der Nerv, während er die Erregung leitet, selbst nicht als erregt vorzustellen sei, — nahm Schiff Veranlassung, in einem Aufsatz „Ueber die Verschiedenheit der Aufnahmefähigkeit und Leitungsfähigkeit in dem peripherischen Nervensystem" (*ebenda* XXIX, S. 221, 1867) auf die von ihm selbst vertretene Ansicht zurückzukommen und ein Experiment zur Illustration derselben anzugeben. Frösche, denen die Oberschenkel so umschnürt worden sind, dass die Circulation, aber nicht die Innervation, unterhalb der Umschnürung aufgehoben ist, werden mit Coniin (oder Curare) vergiftet. Nach Verlauf mehrerer Stunden sind nur noch Reflexbewegungen vorhanden auf Reize, welche peripherisch von der Umschnürung angebracht werden. Tödtet man die Frösche kurz ehe auch diese Reflexbewegungen geschwunden sind und praeparirt die Plexus lumbales, so sind diese, welche eben noch, nach Ausweis der Reflexbewegungen, centripetal und centrifugal geleitet haben, gegen die stärksten elektrischen, mechanischen chemischen Reize unempfindlich. Peripher von der Umschnürungsstelle zeigt der Nerv die gewöhnliche Erregbarkeit, Negative Schwankung ist dann am Plexus bei peripherisch angebrachtem Reiz zu beobachtem, am N. ischiadicus bei Reizung des Plexus dagegen nicht. Nach Schiff's eigener Angabe ist es schwierig, den richtigen Moment für die Tödtung zu treffen.

Die Neuropathologen waren wohl schon seit längerer Zeit, durch ihre zu diagnostischen Zwecken angestellten Prüfungen am Menschen, auf eine Unterscheidung zwischen Leitungsfähigkeit und Reizbarkeit hingewiesen worden, und bald nach der letztgenannten Publication Schiff's, in welcher er die bezüglichen Angaben der Neuropathologen als vielfach bezweifelt hinstellte, wurde auch von dieser Seite experimentelles Material zur Beurtheilung dieser Frage beigebracht, und zwar 1868 von Ziemssen und Weiss im *Deutschen Archiv für klinische Medicin* S. 579 und im Jahre 1869 von Erb, *ebenda* S. 62. Aus diesem Erfahrungskreise ist von den Physiologen mit Recht der Beobachtung von Erb die grösste Aufmerksamkeit geschenkt worden, nach welcher es während der Regeneration eines gequetschten Ischiadicus vom Frosch eine Zeit giebt, wo die gequetscht gewesene Stelle die natürliche und künstlich erzeugte Erregung schon wieder gut leitet, auch mechanisch selbst reizbar ist, dem elektrischen Reiz gegenüber aber sich unempfindlich erweist. Zu der Schlussfolgerung, dass die elektrische Reizung der Nerven nur durch wesentliche Vermittelung der Markscheide zu Stande komme, und dass letztere an der Leitung der Erregung unbetheiligt sei, hat die fernere Beobachtung Erb's geführt, dass in jenem Stadium der Regeneration die Continuität des Axencylinders zwar schon wiederhergestellt, eine Umgebung des Axencylinders mit Nervenmark aber noch nicht eingetreten ist.

---

[1] Ich für meine Person bin erst durch Hrn. Munk selbst, in der Discussion über meinen Vortrag, auf seine Beobachtung aufmerksam gemacht worden. Da unsere Discussionen nicht gedruckt werden, so glaubte ich dem erhaltenen Winke, für welchen ich Hrn. Munk meinen besten Dank sage, durch die Einreihung seiner Erfahrungen in die historische Uebersicht gerecht werden zu dürfen.

Die Verwunderung über Grünhagen's sonderbare Vorstellungen von dem Verhältniss der Erregungsleitung zu der Erregung darf uns nicht abhalten, ihm das Verdienst zuzuerkennen, die Grundzüge eines Verfahrens angegeben zu haben, mit Hülfe dessen man jederzeit schnell und sicher das verschiedene Verhalten der Leitungsfähigkeit und der Reizbarkeit an peripherischen Nerven demonstriren kann. Am Schluss einer wesentlich anderen Zielen gewidmeten Arbeit „Ueber intermittirende Nervenreizung“, vom Jahre 1872, welche im 6. Bande von Pflüger's *Archiv* enthalten ist, beschreibt er auf S. 180 einen Versuch, in welchem er den Nerven eines Nerv-Muskelpraeparates vom Frosch durch eine kleine, im Inneren mit einem Elektrodenpaar versehene Gaskammer führt, das centrale Ende des Nerven auf ein anderes Elektrodenpaar legt und nun beobachtet, dass nach Durchleiten von Kohlensäure durch die Gaskammer der Reizeffect auf Zuführung des Reizes mittels des äusseren Elektrodenpaares unverändert bleibt, während derjenige bei Benutzung des inneren abnimmt. Indem wir den Werth dieses Versuches anerkennen, müssen wir uns aber sofort gegen die Formulirung wenden, welche Grünhagen der zu ziehenden Schlussfolgerung gegeben hat, dass nämlich „nervöser Erregungs- und nervöser Leitungsvorgang als verschiedenartige Processe von einander zu trennen“ seien. Wir können uns eine Nervenstelle, welche die Erregung leitet, nicht anders als selber im Zustande der Erregung vorstellen, wir müssen aber beachten, dass eine reizende Einwirkung, welche die erregbare Substanz der Nerven gewissermaassen von der Breitseite treffen soll, accessorische Substanzen zu durchdringen, oder in ihnen vielleicht erst Processe einzuleiten hat, deren Product dann als wirklicher Reiz auftritt oder dergleichen mehr, und dass die Leichtigkeit, mit welcher diese Zwischenstufen durchlaufen werden, modificirt werden kann, in dem vorliegenden Falle verringert durch die Kohlensäure.

Sehen wir von einer einfach bestätigenden Nachuntersuchung ab, welche E. Hirschberg, ein Schüler Grünhagen's, unter dessen Leitung, ohne Einführung wesentlicher Modificationen, ausgeführt und im 39. Bande von Pflüger's *Archiv* S. 75 veröffentlicht hat, so sind die einzigen Forscher, welche über Resultate berichteten, zu denen sie unter Anwendung von Grünhagen's Methode gelangt sind, J. Szpilman und B. Luchsinger. Aus ihrer bezüglichen Publication, welche „Zur Beziehung von Leitungs- und Erregungsvermögen der Nervenfaser“ benannt und im 24. Bande von Pflüger's *Archiv* S. 347 im Jahre 1881 erschienen ist, können wir nur den Versuchsresultaten, nicht den Schlussfolgerungen ein bleibenden Werth zuerkennen. Die Fehler der letzteren sind schon von Efron in seiner sofort zu erwähnenden Arbeit richtig erkannt worden.

Die Versuchsmethode ist von Szpilman und Luchsinger insofern erweitert worden, als dieselben ausser der Kohlensäure auch Ammoniak und die Dämpfe von Alkohol, Aether und Chloroform in der Gaskammer auf die Nerven einwirken liessen. Der thatsächliche Befund von Grünhagen findet in der Arbeit zwar eine Bestätigung, doch wird er dahin ergänzt, dass dem von Grünhagen bei Einwirkung der Kohlensäure allein beobachteten Stadium, bei Anwendung stärkerer Agentien ein anderes sich anschliesst, in welchem die Reizung mittels der inneren Elektroden wirksamer ist als diejenige mittels der vom Muskel entfernteren, äusseren. Nach unserer, von der Luchsinger's abweichenden Auffassung würde dies bedeuten, dass Anfangs die Reizbarkeit

der den Gasen und Dämpfen ausgesetzten Nervenstrecke stärker sinkt als die Leitungsfähigkeit, später die Leitungsfähigkeit stärker als die Reizbarkeit.

Efron ist in einer sehr sorgfältig mit zweckmässigen Methoden unter Grützner's Leitung ausgeführten Untersuchung, welche zu anderen Zwecken angestellt war, ebenfalls auf das uns hier interessirende Gebiet geführt worden. Indem er den Beweis beibrachte, dass an den durch verschiedene Polarisirbarkeit und durch verschiedene Empfindlichkeit für absteigend und aufsteigend gerichtete elektrische Ströme ausgezeichneten centraleren und peripherischen Strecken des Frosch-Ischiadicus auch eine Verschiedenheit in der Modificirbarkeit durch chemische, thermische und mechanische Beobachtungen besteht, beobachtete er eine Verschiedenheit des Erfolges, je nachdem er eine mittlere, den Modificationen unterworfene Nervenstrecke oder eine vom Muskel entferntere, welche selbst dem modificirenden Einflusse nicht ausgesetzt worden war, mit elektrischen Reizen prüfte. Er widmete diesem Beobachtungsgebiet einen besonderen Theil der 1885 im 36. Bande von Pflüger's *Archiv* S. 467—517 veröffentlichten Untersuchung und benannte ihn: „Ueber Aufnahmefähigkeit und Leitungsfähigkeit der Nerven". In der Besprechung und Zusammenfassung seiner Versuchsresultate hebt er nur diejenigen hervor, welche die Schädigung und Wiedererholung beider Functionen betreffen; in Bezug auf erstere bestätigt er die Resultate von Grünhagen, Luchsinger und Szpilman, in Bezug auf letztere bringt er als neu bei, dass „die zuerst geschädigte Anspruchsfähigkeit sich auch zuerst wieder erholt, während die Leitungsfähigkeit, welche später leidet, auch längere Zeit zu ihrer Erholung braucht." Merkwürdigerweise geht er selbst im Text auf eine sehr interessante andere neue Erscheinung, welche in einigen seiner Versuche mit grosser Deutlichkeit hervortritt, nicht ein, dass nämlich, wenn der Schädigung eine Besserung der Leitungsfähigkeit des Nerven vorangeht, die Reizbarkeit noch erhöht sein kann zur Zeit, wenn die Leitungsfähigkeit schon stark unter den ursprünglichen Werth gesunken ist. Dieses Resultat ist am deutlichsten aus Curve VIII, S. 505, wo die Modification durch Aenderung in der Belastung der mittleren Nervenstrecke herbeigeführt wurde, und auch in Curve VI, wo mässige Erwärmung als Mittel zur Herbeiführung der Modification diente. Einen besonderen Werth hat die Untersuchung von Efron dadurch, dass sie, der Natur der Sache nach, nicht unter Benutzung der Gaskammer angestellt ist und deshalb ergänzend zu denjenigen hinzutritt, bei denen diese sonst manche Vorzüge bietende Methode angewandt worden ist oder angewandt werden wird.

Das besondere Interesse, welches mir den Wunsch nahe legen musste, durch eigene oder unter meinen Augen angestellte Versuche Einsicht zunächst in die fundamentalen Erscheinungen der Trennung von Reizbarbeit und Leitungsfähigkeit im Nerven zu gewinnen, habe ich Eingangs angedeutet. Die Gelegenheit, diesem Wunsche nachzukommen, verdanke ich Hrn. Sawyer, welcher sich der Ausführung der Versuche mit ebenso viel Bereitwilligkeit als Umsicht und Ausdauer unterzogen hat. Ein allgemeineres Interesse dürfen die Versuche deshalb beanspruchen, weil durch ihre Methodik ein den früheren Resultaten anhaftender Zweifel beseitigt wird und weil in ihnen dem in Efron's Arbeit erschienenen, dort aber nicht näher beachteten Stadium erhöhter Reizbarkeit bei gesunkener Leitungsfähigkeit besondere Aufmerksamkeit zugewandt wurde.

Aus mehrfachen Gründen habe ich zur Herbeiführung der Modification des Nerven die Gaskammer benutzt. Ich habe aber der in der Gaskammer eingeschlossenen Nervenstrecke eine grössere Länge gegeben und innerhalb der Gaskammer zwei Elektrodenpaare angebracht, das eine (p) unmittelbar an der dem Muskel zunächst gelegenen Wand der Gaskammer, das andere (m) an der gegenüber liegenden Wand. Dem dritten Elektrodenpaar (c) lag das centrale, aus der Gaskammer hervorragende Nervenende des Nerv-Muskelpraeparates (Ischiadicus mit Gastroknemius von Rana esculenta) auf. Zur Beurtheilung des Zustandes des Nerven diente ausschliesslich der Schwellenwerth des Reizes, bestimmt durch Messung desjenigen Rollenabstandes am du Bois-Reymond'schen Schlitten-Inductorium, bei welchem tetanisirende Wechselströme eine eben wahrnehmbare Bewegung am Wadenmuskel auslösten. Trat eine Modification des Nerven bei Durchleitung von Gasen oder Dämpfen durch die Gaskammer ein, so durfte man, wegen der Anordnung der Elektroden, die Aenderung des Schwellenwerthes bei Benutzung des Elektrodenpaares p als einen möglichst reinen Ausdruck der Aenderung der Reizbarkeit, der Aenderung des Schwellenwerthes bei Benutzung des Elektrodenpaares c als einen möglichst reinen Ausdruck der Aenderung der Leitungsfähigkeit der in der Gaskammer eingeschlossenen Nervenstrecke ansehen, vorausgesetzt, dass noch ein Zweifel beseitigt wurde.

Betrachten wir den Fall der Durchleitung von Kohlensäure. Hier trat in den Versuchen des Hrn. Sawyer, ganz wie es nach den Erfahrungen der früheren Experimentatoren zu erwarten war, ein Steigen des Schwellenwerthes p bei Constantbleiben des Schwellenwerthes c ein. Gegen den Schluss, dass die Reizbarkeit der in der Gaskammer eingeschlossenen Nervenstrecke gesunken sei, ist ein Einwand nicht so leicht zu erwarten. Dass aber die Reizbarkeit gleichzeitig eine andere Veränderung erfahren solle, als die Leitungsfähigkeit derselben Nervenstrecke, ist immerhin so merkwürdig, dass *a priori* die Annahme gleichberechtigt erscheinen kann, dass Reizbarkeit und Leitungsfähigkeit der Nervenstrecke innerhalb der Gaskammer gleichmässig modificirt worden seien und dass das Resultat von einer gleichzeitigen umgekehrten Modification der Nervenstrecke ausserhalb der Gaskammer herrühre. In der That würden ja dieselben Erscheinungen eintreten, wenn die Leitungsfähigkeit des Nerven innerhalb der Gaskammer abgenommen, die Reizbarkeit ausserhalb derselben am centralen Elektrodenpaar zugenommen hätte. Zwischen den beiden Möglichkeiten entscheidet nun aber der Erfolg, bei Prüfung mittels des Elektrodenpaares m. Die Aenderung des Schwellenwerthes bei Benutzung dieses Elektrodenpaares ist beeinflusst von der Aenderung sowohl der Reizbarkeit, als auch der Leitungsfähigkeit der Nervenstrecke innerhalb der Gaskammer. Ist Reizbarkeit und Leitungsfähigkeit der Nervenstrecke innerhalb der Gaskammer bei Durchleiten von Kohlensäure gleichmässig modificirt, so muss der Schwellenwerth m höher steigen als der Schwellenwerth p. Dies trat bei den Versuchen des Hrn. Sawyer aber niemals ein, vielmehr verlief die Aenderung beider Schwellenwerthe stets parallel. Dies beweist — unter Berücksichtigung der durch Efron constatirten stärkeren Modificirbarkeit der vom Muskel entfernteren Nervenstrecken sogar *a fortiori* — die Trennung des Verhaltens der Reizbarkeit derselben Nervenstrecke von ihrer Leitungsfähigkeit. Auf denselben Einwand, welchen wir auf diese Weise widerlegt haben, ist übrigens schon Efron aufmerksam gewesen. Er hat ihn dadurch zu beseitigen gesucht, dass er den

Nerven auch peripher von der direct modificirten Stelle prüfte. Da hier keine Aenderung der Reizschwelle eintrat, war eine indirecte Modification an den dem Muskel näheren Stellen ausgeschlossen. Durch Analogie schloss er, dass dies auch an der von dem Muskel entfernteren Stelle, auf die es eigentlich ankommt, nicht der Fall sein werde. Gerade im Hinblick auf den von Efron erbrachten Nachweis, dass die vom Muskel entfernteren Stellen leichter modificirbar sind, erschien die Stützung des Analogieschlusses durch einen directen Beweis wünschenswerth. Da die von mir eingeführte Methode diesen Beweis in jedem einzelnen Falle zu erbringen gestattet, scheint sie mir zur eingehenderen Untersuchung des Erscheinungsgebietes besonders geeignet. Hr. Sawyer hat übrigens nicht verfehlt, Prüfungen auch peripher von der direct modificirten Stelle vorzunehmen, und er hat hierbei auch für seine modificirenden Mittel, ebenso wie Efron für die seinigen, constatirt, dass eine indirecte Modification an dieser Prüfungsstelle nicht eintrat.

Zur Erreichung der ein besonderes Interesse bietenden Modification des Nerven, bei welcher die Reizbarkeit erhöht ist zur Zeit, wo die Leitungsfähigkeit abgenommen hat, erwies sich Hrn. Sawyer die Durchleitung von Luft durch die Gaskammer nützlich, welche vorher durch einen etwas verdünnten Aethyl-Alkohol gegangen war. Die Reizschwelle p sank hierbei Anfangs fast ausnahmslos, die Reizschwelle c manchmal ebenfalls, dann aber nur für kurze Zeit, um bald stark zu steigen und den ursprünglichen Werth zu übertreffen, wenn die Reizschwelle p noch unterhalb ihres ursprünglichen Werthes war. Die Reizschwelle p nahm im weiteren Verlauf der Narkose meist auch zu, doch gab die Prüfung mittels des Elektrodenpaares p stets noch bei verhältnissmässig geringer Annäherung der Rollen des Inductoriums minimale Zuckungen, wenn von dem Elektrodenpaar c beim Rollenabstand Null schon kein Erfolg mehr zu erzielen war. Die Aenderungen des Schwellenwerthes m zeigten, dass diejenigen von p wesentlich auf Aenderungen der Reizbarkeit, diejenigen von c wesentlich auf Aenderungen der Leitungsfähigkeit der direct modificirten Strecke zu beziehen waren. Zur Restitution der Nerven wurde mit Wasserdampf gesättigte Luft durch die Gaskammer geleitet. Die Reizbarkeit erreichte hierbei fast den ursprünglichen Werth, die Leitungsfähigkeit erholte sich weit unvollkommener.

Das besondere Interesse, welches sich an die Beobachtung erhöhter Reizbarkeit bei gleichzeitig gesunkener Leitungsfähigkeit knüpft, scheint mir in Folgendem zu liegen. Die Leitungsfähigkeit ist, nach der einfachst denkbaren Vorstellung, ein Maass für die Empfindlichkeit (Labilität) der wesentlichen Nervensubstanz (im Axencylinder) gegen Einwirkungen, welche vom benachbarten Querschnitt der gleichartigen Substanz ausgehen und welche sich in longitudinaler Richtung in dieser Substanz fortpflanzen. Die Reizbarkeit ist ein Maass für die Leichtigkeit, mit welcher die am Nerven äusserlich angreifenden stimulirenden Einwirkungen sich durch accidentelle Substanzen bis zur eigentlichen erregungsleitenden Nervensubstanz fortpflanzen und für die Labilität dieser Substanz selbst. In dem Falle verringerter Reizbarkeit bei unveränderter Leitungsfähigkeit kann man sich leicht bei der Annahme beruhigen, dass durch die modificirende Einwirkung, z. B. durch die Kohlensäure, die accidentellen Substanzen weniger durchgängig für die stimulirende Einwirkung gemacht würden und dass die Labilität oder Erregbarkeit der eigentlichen Nervensubstanz unverändert bleibe. Wollte man diese Anschauung auf den Fall aus-

dehnen, in welchem die Reizbarkeit erhöht ist bei gleichzeitiger Herabsetzung der Leitungsfähigkeit, so müsste man annehmen, dass die Durchgängigkeit der accidentellen Substanzen für den Reiz stark genug zugenommen habe, um das Sinken der Labilität der eigentlichen Nervensubstanz zu übercompensiren. Angesichts der Complicirtheit dieser Annahme wird aber man wohl geneigt sein, auch die andere Möglichkeit in Betracht zu ziehen, dass nämlich die Labilität der eigentlichen Nervensubstanz bei longitudinal gerichteten Einwirkungen eine andere sein kann als bei transversal gerichteten — spricht doch die Unempfindlichkeit der Nerven gegen quergerichtete elektrische Ströme hierfür — und dass die longitudinale Labilität sich in umgekehrtem Sinne ändern könne als die transversale. Zum Schluss mag noch darauf hingewiesen werden, dass erhöhte Leitungsfähigkeit bei unveränderter oder gesunkener Reizbarkeit bisher nicht beobachtet worden ist.

Ueber die Scheidekraft der Unterkieferdrüse.

Von

Dr. Ivo Novi.

(Aus dem physiologischen Institut zu Leipzig.)

Die Versuche, von welchen die nachstehende Abhandlung berichtet, sind während des Jahres 1885—86 auf Anregung des Hrn. Prof. C. Ludwig angestellt worden. Aus der Verzögerung ihrer Veröffentlichung erwuchs der Abhandlung der Vortheil, dass bei ihrer Abfassung eine indess erschienene Schrift des Hrn. Werther[1] benutzt werden konnte.

Dunkel und eigenartig ist das Vermögen der Drüsen, unter den Stoffen, welche ihnen das Blut bietet, eine Auswahl zu treffen, um aus ihnen eine von der Mutterflüssigkeit wesentlich verschiedene Mischung herzustellen. Zur Umgrenzung dieses Vermögens und zur Festlegung seiner Bedingungen scheinen sich vor allem die Speicheldrüsen zu eignen, weil sie einen verhältnissmässig einfach zusammengesetzten Saft liefern und weil sie nach Belieben zur Erzeugung desselben veranlasst werden können.

Nach einer schon vor vielen Jahren gemeinschaftlich von E. Becher und C. Ludwig[2] mitgetheilten Beobachtung wird der Procentgehalt des Unterkieferspeichels an organischen Bestandtheilen wesentlich beeinflusst durch Stoffe, welche während einer vorausgegangenen Ruhezeit in der Drüse selbst aufgehäuft waren. Aus diesem Grunde und nicht minder wegen unserer geringen Bekanntschaft mit dem organischen Rückstand des Speichels können einstweilen nur die mineralischen Stoffe desselben in Frage kommen.

Da eine auf das Wahlvermögen der Drüsen gerichtete Untersuchung die Kenntniss von der Zusammensetzung der Mutterflüssigkeit und des

[1] Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXXVIII. S. 293.

[2] Henle und Pfeufer's *Zeitschrift.* N. F. Bd. I.

daraus abgeschiedenen Saftes voraussetzt, diese Forderung aber in den auf den Speichel bezüglichen Arbeiten unerfüllt blieb oder nur qualitativ befriedigt wurde, so kann unter Hinweisung auf die in den Lehrbüchern der physiologischen Chemie enthaltenen Angaben ein ausführlicher Bericht über vordem angestellte Versuche unterbleiben.[1]

In einer Ausnahmsstellung befindet sich die Untersuchung von Werther, die, eine Entdeckung Heidenhain's weiter verfolgend, die Abhängigkeit zu bestimmen trachtet, in welcher der Na Cl-Gehalt des Speichels von dem Erregungsgrade der Drüse steht. Wenn auch Werther die Bestimmung des NaCl-Gehaltes in dem Blute unterlassen hat, aus welchem der Speichel hervorgegangen war, so wird man von dem Mangel darum absehen können, weil die Annahme gerechtfertigt sein dürfte, dass die mit einander verglichenen Speichelmengen aus einer Mutterflüssigkeit gleichen NaCl-Gehaltes herausgenommen seien.

Aus der Abhandlung Werther's entnehme ich die folgende Zahlenreihe. Die lateinischen Ziffern entsprechen der Zahl der Versuchsthiere. Die unter einer lateinischen Ziffer mit gleichen Buchstaben a, a′, b, b′ bezeichneten Zahlen bedeuten je zwei zum Vergleiche gestellte Absonderungen. Im vierten Stabe stehen in Milligramm die NaCl-Mengen, welche die im vorhergehenden Stabe aufgeführte Speichelmenge enthielt. In dem letzten Stabe sind die Procentwerthe des Speichels an NaCl eingetragen.

Versuchsnummer		Speichelmenge in 1 Minute in Ccm.	Na Cl in Milligramm während 1 Min.	Na Cl in Procenten
I.	a	0·177	0·49	0·28
	a′	0·802	2·81	0·35
	b	0·274	0·38	0·14
	b′	0·718	2·15	0·30
II.	a	0·176	0·51	0·29
	a′	0·890	2·67	0·30
	b	0·216	0·28	0·13
	b′	1·082	2·92	0·27
III.	a	0·209	0·58	0·28
	a′	2·494	14·47	0·58
	b	0·375	1·16	0·31
	b′	2·488	13·62	0·55
	c	0·197	0·37	0·19
	c′	1·572	7·86	0·50

[1] Cl. Bernard, *Liquides de l'organisme.* 1859. t. II. p. 241 ff. — Kühne, *Lehrbuch der physiologischen Chemie.* 1868. S. 9. — Hoppe-Seyler, *Physiologische Chemie.* 1881.

(Fortsetzung vorstehender Tabelle.)

Versuchs-nummer		Speichelmenge in 1 Minute in Ccm.	Na Cl in Milligramm während 1 Min.	Na Cl in Procenten
IV.	a	0·241	0·51	0·21
	a′	1·182	4·85	0·41
	b	0·339	0·75	0·22
	b′	1·033	3·61	0·35
V.	a	0·235	0·73	0·31
	a′	1·045	5·12	0·49
VI^1	a	0·249	0·82	0·33
	a′	0·546	2·35	0·43
	b	0·221	0·49	0·22
	b′	0·467	1·87	0·40
VI^2	a	0·247	0·72	0·29
	a′	0·810	3·00	0·37

Aus den Bestimmungen je zweier nach einander aufgefangenen Speichelmengen desselben Thieres, einer während geringerer, einer anderen während grösserer Absonderungsgeschwindigkeit gelieferten, berechnet Werther die sogenannten Verstärkungscoefficienten des Speichels und des Na Cl-gehaltes. Seine Zahlen, die ich hier folgen lasse, weisen auf keinen strengen Zusammenhang hin. Nur so viel steht fest, dass der NaCl-Gehalt wächst wenn die Speichelabsonderung rascher wird.

Versnchs-nummer		Verhältnisszahl des abgesonderten Speichels	Verhältnisszahl des NaCl-Gehaltes	Versuchs-nummer		Verhältnisszahl des abgesonderten Speichels	Verhältnisszahl des NaCl-Gehaltes
I.	$\frac{a'}{a}$	4·5	1·2	IV^r	$\frac{a'}{a}$	4·4	1·9
	$\frac{b'}{b}$	2·6	2·0		$\frac{b'}{b}$	3·0	1·6
II.	$\frac{a'}{a}$	5·0	1·0	V^r	$\frac{a'}{a}$	4·4	1·6
	$\frac{b'}{b}$	5·0	2·0	VI^r	$\frac{a'}{a}$	2·2	1·3
III.	$\frac{a'}{a}$	11·9	2·1		$\frac{b'}{b}$	2·1	1·8
	$\frac{b'}{b}$	6·6	1·8	VI^l		3·2	1·3
	$\frac{c'}{c}$	8·0	2·7				

Gleich der vorgelegten führen auch andere Verknüpfungsarten der Zahlen nicht zum erwünschten Ziel. Aus dem bekannten Anwachsen der Drüsenerregung lässt sich die Zunahme des NaCl-Gehaltes im Speichel nicht im Voraus ermessen.

Eine zutreffende Vergleichung der NaCl-Gehalte im Blute und im Speichel versagt uns die Versuchsreihe Werther's; indess scheint es doch, als ob der NaCl-Gehalt des Speichels auch bei sehr starker Reizung der Chorda den des Serums nicht zu übersteigen vermöge. Die höchsten Procentzahlen für den Speichel liegen noch unter 0.6, während nach meinen später zu erwähnenden Auswerthungen der Gehalt des normalen Serums an NaCl bis um ein Geringes über 0·6 Procent steigen kann. Vorausgesetzt, es könne der NaCl-Gehalt des Speichels nie als gleich Null werden und ebenso wenig höher als 0·6 Procent steigen, so würde sich als wahrscheinlich folgern lassen, dass die Steilheit, mit welcher der NaCl-Gehalt im Speichel anwächst, mit der zunehmenden Absonderungsgeschwindigkeit fortschreitend abnähme; der NaCl-Gehalt des Speichels müsste sich dem des Serums assymptotisch annähern.

Wer untersuchen will, wie sich mit dem Cl-Gehalt der Mutterflüssigkeit der des Speichels ändert, wird sich zu fragen haben, ob der Speichel unmittelbar aus dem Blutplasma oder aus der Lymphe entsteht. Als bevorzugte, wenn auch nicht als einzige Quelle des Speichels wird man geneigt sein, die Lymphe anzusehen, wenn man in Betracht zieht, um wie viel inniger und ausgedehnter ihre Berührung mit den Speicheldrüsen ist als die des Blutes. Eine Vergleichung ihrer Bestandtheile mit denen des Speichels ist gewiss von hoher Bedeutung, indess wird durch eine solche nicht schon die Frage erledigt, wie die Zusammensetzung des Speichels von der der Blutflüssigkeit abhängt. Und hierüber darf doch keine Unklarheit bestehen bleiben, weil die Zusammensetzung des Blutplasma's grundlegend die Vertheilung der Stoffe in den abgeleiteten Säften bestimmt.

Wenn aber ein Gesetz gefunden werden soll, nach welchem sich der Cl-Gehalt des Speichels mit dem entsprechenden des Blutplasma's regelt, so muss der Reichthum des letzteren an Chlorverbindungen nach Belieben zu ändern und dabei dauernd auf gleicher Höhe zu halten, die Absonderung des Speichels dagegen in stetigem gleichstarkem Fluss zu bringen sein.

Der ersten der beiden Bedingungen kann, wie wir aus den Beobachtungen von Brasol und Klikowitsch mit Zucker- und Salzlösungen und aus den augenscheinlichen Folgen einer Injection von Indigcarmin wissen, nicht durch eine einmalige Einführung des fremden Stoffes erfüllt werden; die fort und fort aus dem Blut herauswandernden Salzmengen müssen

ihm durch ebenso rasch zugeführte ersetzt werden. — Desshalb kam mit der Jugularis eine getheilte Glasröhre in Verbindung, welche mit zehnprocentiger NaCl-Lösung gefüllt war. Aus ihr wurden, wenn das Besalzen des Blutes beginnen sollte, in Zwischenzeiten von je fünf Minuten vorausbestimmte Antheile des Inhaltes in die Vene hinübergelassen. Je nach dem Körpergewicht des Thieres oder der beabsichtigten Steigerung des Salzgehaltes im Blute betrug das jeweilig eingeführte Lösungsmaass 1 bis 6 ^{ccm}. — Aus den analytischen Belegen wird man ersehen, dass durch die getroffenen Maassregeln die innerhalb des Blutes vorhandene Cl-Menge dauernd auf annähernd gleicher Stufe zu erhalten ist.

Die andere der Bedingungen, unter welcher die Abhängigkeit der Chlormenge im Speichel von der des Blutes rein dargestellt werden kann, liess sich nicht nach Willkür beherrschen. Keinem der angewendeten Mittel ist es gelungen, die Speichelabsonderung auf längere Zeit in einem gleichmässigen Fluss zu erhalten. So kann man von anderen den Cl-Gehalt bestimmenden Ursachen die der veränderlichen Absonderungsgeschwindigkeit nicht mit Sicherheit befreien. Nach mannigfachen Umwegen habe ich mich auf die Benutzung unvergifteter Thiere beschränkt, und die Thätigkeit der Unterkieferdrüse, aus deren Gang der Speichel mittelst eines Glasröhrchens gesammelt wurde, von den sensibeln Nerven der Mundhöhle aus angeregt. Schwache Säuren, verdünntes Ammoniak u. s. w. dienten als Erreger. Dass bei dem Aufsuchen und Montiren des Speichelganges der Nerv sorgfältig geschont wurde, wird keiner besonderen Erwähnung bedürfen. — Durch eine aufmerksame Regelung des Reizes kann die Speichabsonderung lange im Gange gehalten und auf mannigfache Stufen der Geschwindigkeit gebracht werden. Aber nur selten fiesst der Speichel in gleichmässigem Strom, so dass statt einer constanten, eine Absonderungsgeschwindigkeit bestimmt werden muss, welche das Mittel aus mehrfachen verschiedenen anzusehen ist. Weil nun aber, wie vorhin gezeigt wurde, der Cl-Gehalt des Speichels keine geradlinige Function der Absonderungsgeschwindigkeit darstellt, so ist ersichtlich, dass je nach der Zusammensetzung aus den Einzelwerthen die unter gleicher mittlerer Geschwindigkeit abgesonderten Speichel einen ganz verschiedenen Cl-Gehalt aufweisen müssen. Erst nach Beseitigung dieser Hemmung wird sich die gesetzmässige Abhängigkeit des Chlorspeichels von anderen Bedingungen reiner, als es mir gelungen ist, darlegen lassen.

Der Verlauf eines Versuchs gestaltete sich so, dass nach der Vollendung der nöthigen Operationen dem Hunde 80 ^{ccm} Blut aus einer Arteria carotis entzogen und daraus auf der Centrifuge das Serum abgeschieden wurde. Dann sammelte man, unter Aufzeichnung der Zeit, die zur Doppelanalyse nöthigen Speichelmengen. Nächstdem begann das Einführen von NaCl in

das Blut und das Ansammeln einer neuen Speichelportion; reichte sie zu zwei Analysen, so wurde abermals Blut genommen. Je nach dem Gewicht des Thieres wurde Speichel- und Blutentnahme noch mehrmals wiederholt.

Die Cl-Bestimmungen geschehen nach der bekannten Verfahrungsart v. Volhardt's. Bei gehöriger Sorgfalt stimmen die aus je zwei Blut- bez. Speichelportionen gefundenen Werthe des Chlors bis auf 0·02, äussersten Falls bis auf 0·03 Proc. überein. In der weitaus überwiegenden Mehrzahl meiner Analysen wichen die Procentwerthe an Cl in zwei zu einander gehörigen Flüssigkeiten nicht um mehr als 0·02 von einander ab.

Unter 14 nüchtern zum Versuch gelangten Hunden fanden sich 10, in welchen die Cl-Gehalte des Blutserums und Speichels zum Vergleich gestellt werden konnten. In den Nummern 1 und 2 kam Pilocarpin, in anderen die Reizung sensibler Mundnerven zur Anwendung. Die Hunde 3, 4, 5 waren mit Chloral vergiftet; sie fallen ausser Betracht.

Bei der Durchsicht der Zusammenstellung meiner Ergebnisse wolle man beachten, dass in ihnen nur der Cl-Gehalt der Flüssigkeiten, also das unmittelbare Resultat der Analyse aufgezeichnet steht. Aus der Umrechnung der Zahlen in den betreffenden Werth in NaCl entspringt, soweit ich sehe, kein Vortheil. Die zum Aufsammeln des Speichels verbrauchte Zeit ist auf je 10 Minuten reducirt, das in dem Speichel enthaltene Cl ist in Milligrammen angegeben. Alles andere erklärt sich durch die Ueberschriften der Stäbe.

Versuchsnummer und Körpergewicht	Speichel während 10 Min. in Ccm.	Chlor in 100 Speichel	Chlormenge in 10 Minuten in Mgrm.	Chlor in 100 Serum	Chlorgehalt des Speichels. / Chlorgehalt des Serums
I. 7kgrm	6·5	0·176	11·4	—	—
	5·5	0·181	10·0	0·323	0·560
II. 35 „	1·91	0·065	1·2	—	—
	24·76	0·183	45·3	—	—
	6·0	0·131	7·9	0·410	0·320
VI. 40 „	zwischen	0·190	—	0·390	0·487
	10·0	0·216	—	0·450	0·480
	und	0·198	—	0·498	0·398
	20·0	0·260	—	505 bis 0·348	0·515 bis 0·747
VII. 8·5 „	14·0	0·132	18·5	0·386	0·342
	5·0	0·082	4·1	steigend	—
	5·0	0·106	5·3	auf	—
	5·0	0·178	8·9	0·599	0·297

(Fortsetzung vorstehender Tabelle.)

Versuchsnummer und Körpergewicht	Speichel während 10 Min. in Ccm.	Chlor in 100 Speichel	Chlormenge in 10 Minuten in Mgrm.	Chlor in 100 Serum	Chlorgehalt des Speichels / Chlorgehalt des Serums
VIII. 43·5 „	1·44	0·188	2·7	0·361	0·528
	8·1	0·288	23·2	0·453	0·636
	8·3	0·313	26·1	0·493	0·635
	9·4	0·361	34·8	0·501	0·721
	15·0	0·382	57·3	0·553	0·691
IX. 34 „	43·3	0·248	107·4	0·382	0·649
	13·5	0·187	25·2	0·499	0·375
X. 40 „	40·0	0·218	87·2	0·397	0·549
	30·0	0·244	74·4	0·503	0·485
	9·3	0·271	25·1	0·518	0·523
XI. 31·5 „	12·5	0·261	32·6	0·388	0·673
	27·5	0·360	99·0	0·584	0·617
	7·3	0·342	25·1	0·528 bis 0·553	0·648 bis 0·619
XII. 30 „	3·2	0·038	1·2	0·396	0·096
	9·5	0·253	24·1	0·502	0·504
	30·9	0·318	98·3	0·507	0·627
	nur Spuren	—	—	0·700	—
	„	—	—	0·551	—
	kein Speichel	—	—	0·743	—
XIII. 25kgrm	7·4	0·118	8·7	0·336	0·351
	16·5	0·140	23·1	0·476	0·294
	16·7	0·230	38·3	0·546	0·421
	10·0	0·272	27·2	0·612	0·444
XIV. 20 „	5·2	0·056	2·9	0·375	0·149
	29·0	0·233	67·6	0·364	0·640

Durch Einspritzung von Chlorhydrat eingeschläfert.

Versuchsnummer und Körpergewicht	Speichel während 10 Min. in Ccm.	Chlor in 100 Speichel	Chlormenge in 10 Minuten in Mgrm.	Chlor in 100 Serum	Chlorgehalt des Speichels / Chlorgehalt des Serums
III. 35 „	?	0·282	—	0·443	0·637
IV. 10 „	3·2	0·278	9·0	?	—
V. 15 „	12·2	0·220	26·8	?	—
	11·5	0·223	25·6	?	—

Was die vorstehenden Zahlen über die Beziehungen zwischen dem Cl-Gehalt des Speichels und der Blutflüssigkeit aussagen, wird durch eine neue Ordnung derselben ersichtlicher zu machen sein. Ihrer Ausführung schicke ich die Bemerkung voraus, dass meine Beobachtungen die durch Heidenhain und Werther gewonnenen bestätigen. Bei gleichem Cl-Gehalt des Serums wächst mit der steigenden Absonderungsgeschwindigkeit der Cl-Gehalt des Speichels. Einen sehr deutlichen Beleg hierfür giebt meine am 14. Thiere angestellte Beobachtung. Als die in 10 Minuten abgeschiedene Speichelmenge von 5·2 auf 29·0 ^{ccm} aufwuchs, fand eine Vermehrung des Cl-Gehaltes von 0·056 auf 0·233 statt, ungeachtet dessen, dass der Cl-Gehalt des Serums am Beginn des Versuchs zu 0·375 Procent und zu Ende derselben zu 0·364 Procent gefunden wurde.

I. Zunächst sollen diejenigen meiner Beobachtungen betrachtet werden, in welchen bei gleich gebliebener Absonderungsgeschwindigkeit des Speichels der Cl-Gehalt des Serums gewachsen ist.

Versuchs-nummer	Speichelmenge in 10 Minuten in Ccm.	Chlorgehalt	
		des Speichels	des Serums
Aus 7 a	5·0	0·081	0·386
b	5·0	0·178	0·599
„ 8 a	8·1	0·288	0·453
b	8·3	0·313	0·493
„ 13 a	1·7	0·139	0·476
b	1·7	0·230	0·544

Man sieht, mit dem Cl-Gehalt des Serums wächst auch der des Speichels und zwar rascher, als es in der Blutflüssigkeit geschah. Denn als in

7 der Cl-Gehalt des Serums von 100:155 stieg, wuchs der des Speichels von 100:220;

13 der Cl-Gehalt des Serums von 100:114 stieg, wuchs der des Speichels von 100:165;

8 der Cl-Gehalt des Serums von 100:108 stieg, wuchs der des Speichels von 100:108.

Unter den gegebenen Umständen muss sich auch das Verhältniss, welches zwischen dem Cl-Gehalt des Speichels und dem des Serums besteht, in

gleichem Sinne verhalten haben. In der That, dividirt man mit der Procentzahl des Chlors im Serum die entsprechende des Speichels, so ergeben sich als Quotienten:

für 7 a = 0·21 und für 7 b 0·30
„ 13 a 0·29 „ „ 7 b 0·42

für 8 a und 8 b stellt er sich der nahen Uebereinstimmung im Cl-Gehalt der Flüssigkeiten des Beobachtungspaares zu 0·64.

II. Wenn wir nun den Beobachtungen unser Augenmerk zuwenden, in welchen der Gehalt des Serums an Cl wächst, die Absonderungsgeschwindigkeit des Speichels dagegen abnimmt, so stossen wir, wegen der Anwesenheit zweier Entgegengesetztes fordernder Bedingungen auf weniger übereinstimmende Angaben.

Versuchsnummer	Speichel in 10 Minuten in Ccm.	Chlorgehalt	
		des Speichels	des Serums
Aus 7	14·0	0·132	0·386
	5·0	0·178	0·599
„ 9	43·3	0·247	0·382
	13·5	0·187	0·499
„ 10	40·0	0·218	0·397
	30·5	0·244	0·503
	9·3	0·271	0·518
„ 11	12·5	0·261	0·388
	7·3	0·341	0·553
„ 13	17·0	0·139	0·476
	17·0	0·230	0·544
	10·0	0·271	0·612

Nach mehrfachen Richtungen fällt das Ergebniss auseinander. — Zuweilen ereignet sich, dass der mindernde Einfluss der herabgesetzten Absonderungsgeschwindigkeit den erhöhten, den des im Serum angewachsenen Cl-Gehaltes überwiegt. Hierher gehört:

Beobachtung 9.

Die Absonderungsgeschwindigkeit sinkt von 100 auf 31,
Der Cl-Gehalt des Serums steigt „ 100 „ 131,
Der Cl-Gehalt des Speichels sinkt „ 100 „ 76.

In der Regel mehrt sich jedoch mit dem Cl-Gehalt des Serums auch der des Speichels, doch in verschiedenem Grade: zuweilen steigt der Cl-Gehalt im Speichel weniger steil als im Serum, anderemale geschieht das Umgekehrte.

Das erstere findet sich

in 7: die Absonderung sinkt von 100 : 35, der Cl-Gehalt des Serums steigt 100 : 155, der Cl-Gehalt des Speichels steigt 100 : 135,
in 10: die Absonderung sinkt 100 : 76 : 23, der Cl-Gehalt des Serums steigt 100 : 126 : 130, der Cl-Gehalt des Speichels steigt 100 : 112 : 123;
in 11: die Absonderung sinkt 100 : 59, der Cl-Gehalt des Serums steigt 100 : 142, der Cl-Gehalt des Speichels steigt 100 : 130.

In den vorstehenden Beobachtungen war eine auch bedeutend verminderte Bildungsgeschwindigkeit des Speichels nicht im Stande, den Einfluss der Vermehrung an Cl im Serum zu verwischen, wohl aber drückte sie seinen Einfluss herab. Zu einem solchen Grad von Bedeutung gelangte die herabgesetzte Absonderungsgeschwindigkeit jedoch nicht immer, denn als

in 13 die Absonderung sinkt von 100 : 100 : 60 und der Cl-Gehalt des Serums steigt von 100 : 114 : 118, steigt der Cl-Gehalt des Speichels von 100 : 165 : 195,

der letztere demnach in höherem Maasse als der erstere.

Für die maassgebende Bedeutung, welche dem Cl-Gehalt der Blutflüssigkeit zugesprochen werden muss, legen die Ergebnisse der letzten vier Versuche ein beredtes Zeugniss ab, denn es kann auch ein mässiger Zuwachs an Cl im Serum die Folgen von sehr bedeutenden Aenderungen der Absonderungsgeschwindigkeit vollkommen verwischen. Mit diesem Ausdruck hat es aber auch sein Bewenden, denn die Beobachtungen reichen bei weitem noch nicht aus, um zahlenmässig bestimmen zu können, welches Wachsthum des Concentrationsgrades gegeben sein muss, um die Wirkung einer bestimmten Minderung der Absonderungsgeschwindigkeit auszugleichen.

III. Dass ein Emporwachsen des Cl-Gehaltes im Speichel eintreten werde, welches über das bis dahin bemerkte Maass hinausgeht, liess sich voraussehen, wenn, wie in den nachfolgenden Beobachtungen, gleichzeitig das Chlor im Serum und die Erregung in der Drüse ansteigen. (Siehe die Tabelle auf S. 413.)

Wenn bis jetzt nur von Chlor die Rede war, so sollte damit der allgemein festgehaltenen Annahme nicht widersprochen werden, dass das Chlor verbunden mit Natrium in den thierischen Säften enthalten sei.

Versuchs-nummer	Speichel in 10 Minuten in Ccm.	Chlorgehalt	
		des Speichels	des Serums
8	1·4	0·188	0·361
	8·1	0·288	0·453
	8·3	0·313	0·493
	9·4	0·363	0·501
	15·0	0·382	0·553
12	3·2	0·038	0·396
	9·5	0·253	0·502
	30·9	0·318	0·507
11	12·5	0·261	0·388
	27·5	0·360	0·584
13	7·4	0·118	0·336
	16·5	0·139	0·476
	16·7	0·230	0·544

Ohne der Wahrheit zu nahe zu treten, wird man annehmen dürfen, dass im Blute, in der Lymphe und im Speichel Chlornatrium vorkommt und als solches herüber und hinüber wandert.

Nun ist aber NaCl ein Körper, der mit keinem Bestandtheil des Blutes, der Lymphe oder der Drüse Verbindungen eingeht, der in keiner der Flüssigkeiten und Häute, die er durchsetzt, Niederschläge erzeugt, der in der wässerigen Lösung leicht und rasch diffundirt. — Nach alledem wäre zu erwarten, dass sich das NaCl gleichmässig mit dem Wasser weiter verbreite, eine Voraussetzung, die anderwärts auch oft genug eintrifft. Wenn sie sich für den Speichel nicht bestätigt, so kann dieses darin liegen, entweder, weil der Antrieb, der die Flüssigkeit von der Aussen- auf die Innenfläche des Drüsenbläschens überführt, in höherem Grade das Wasser als das NaCl zu ergreifen vermag, oder, wenn beide Stoffe gleichmässig in Bewegung gesetzt werden, weil das NaCl auf dem Wege durch die Drüsenmasse einen grösseren Widerstand als das Wasser findet. Angenommen, das NaCl sei in gleicher Dichtigkeit, wie es im Blutplasma vorhanden ist, in die Drüsenlymphe übergetreten und von dort aus mit geringerer Dichtigkeit in das Innere des Bläschens übergeführt worden, so wäre es nicht unmöglich, dass die aus der Drüse hervorströmende Lymphe mehr NaCl als das Blutplasma mit sich führte; deshalb würde es der Mühe werth sein, die Lymphe zu fangen, welche sich während einer lebhaften Absonderung des Speichels aus der Drüse entfernt.

Woher nun auch die Bestandtheile des Speichels genommen werden,

ob unmittelbar aus dem Blute oder aus der Lymphe, für die Bewegungen, welche zur Bildung des Speichels Veranlassung geben, darf man chemische Anziehungen nicht verantwortlich machen. Gegen ihre Betheiligung spricht die chemische Trägheit des NaCl. Um die Auswahl zu erklären, welche die Speicheldrüse unter den ihr von aussen her gebotenen Stoffen trifft, müssen wir auf ihre physikalischen Eigenschaften zurückgreifen; hier müssen wir auf ähnliche Ursachen denken, wie sie bei der Lösung von festen Stoffen oder der Absorption von Gasen in Flüssigkeiten wirksam sind.

Durch eine Vergleichung der Salzgehalte des Blutes und Speichels werden die Ziele einer auf die Speichelbildung gerichteten Untersuchung eingeengt und genauer bestimmt, zugleich aber empfangen sie eine neue Richtung. Als feststehend müssen wir es gelten lassen, dass die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Flüssigkeit aus der Umgebung in das Innere des Drüsenbläschens bewegt und nicht minder, dass die Wahl der Stoffe, die dem Strom einverleibt werden, allein von den Bewegungen abhängen, die in der Drüse selbst vom erregten Nerven aus hervorgerufen werden. Beim Festhalten an dieser Anschauung lässt es sich verstehen, dass die procentische Zusammensetzung des Speichels mit der Stärke der Erregung wechselt. Denn je nach der Kraft, welche den Antrieben eigen ist, kann sich ändern die Fähigkeit, unter den dargebotenen Stoffen zu wählen, oder der Widerstand, welcher bisher auf den Stromwegen zu überwinden war.

Dagegen bleibt es ohne weiteren Zusatz zu unseren Voraussetzungen unverständlich, warum die Steigerung des NaCl-Gehaltes im Blute vermögend sei, das Verhältniss jenes Salzes zum Wasser auch im Speichel zu beeinflussen. Denn aus der grösseren Dichtigkeit des NaCl in dem Blute oder der Lymphe lässt sich der reichlichere Uebertritt des Salzes in den Speichel, wie gesagt, deshalb nicht ableiten, weil die alleinige Ursache für den Uebergang der Stoffe in den eigenartigen Bewegungen der Drüse selbst zu finden ist. Von dieser Vorstellung abzuweichen liegt schon deshalb kein Grund vor, weil aus der mit dem salzreicheren Blute gespeisten Drüse ein Speichel hervorgeht, dessen Zusammensetzung mit dem Erregungsgrade in ähnlicher Weise wie vordem wechselt. Sonach bleibt, wie mir scheint, nur die Annahme übrig, dass die Eigenschaften der Flüssigkeiten, welche die Drüsenläppchen umspülen, auf die der Absonderung zu Grunde liegenden Bewegungen einen unmittelbaren Einfluss üben. Dass aber durch den um ein Geringes gesteigerten Gehalt des Blutes an einem chemisch so trägen Stoff, wie das NaCl, schon eine so merkliche Aenderung in der Drüsenleistung erzeugt werden könnte, daran würde man ohne eine eingehende Untersuchung schwerlich gedacht haben.

Bei dem unbestimmten Ausdruck möchte man doch nicht stehen bleiben, den die Beziehungen zwischen den NaCl-Mengen im Blute und im Speichel

durch die vorstehende Untersuchung gefunden haben. Denn jedenfalls besteht eine strengere Abhängigkeit, als sie hier aufgedeckt wurde. Störend für die Erkenntniss derselben wird der Umstand wirken, dass die Erregungsgrade der Drüsen nicht nach Willkür beherrschbar sind, vielleicht aber auch noch andere, bisher unberücksichtigt gebliebene.

Zu den letzteren gehört vielleicht die Zeitdauer, während welcher die Drüse einer bestimmten Einwirkung ausgesetzt gewesen ist. Veranlassung zu einer solchen Vermuthung giebt der Umstand, dass ein ähnlicher Zuwachs des Cl im Serum sich für den Speichel oft verschieden wirksam erweist, je nach der Zeit des Versuches, zu welcher er eintritt. Wiederholt findet man unter den Beobachtungen, dass eine kleinere Vermehrung des Chlors im Serum gegen Ende des Versuchs den Chlorgehalt des Speichels stärker emporbringt, als es anfänglich ein grösserer Zusatz vermochte. Möglicherweise ändert ein Theil des Apparats, der an der Speichelbildung betheiligt ist, seine Eigenschaften, wenn er auf längere Zeit von einem salzreicheren Blute, statt wie bisher von einem salzärmeren, bespült wird?

Ein Rückblick auf den Spielraum, innerhalb dessen sich der Cl-Gehalt des Speichels bei meinen Beobachtungen bewegte, zeigt, dass er zwischen den Grenzen von 0·04 und 0·38 Procent gelegen ist. Niemals war der Speichel frei von Chlor, niemals aber erreichte er das Cl-Procent des Serums. Und auch seine höheren Dichtigkeitsgrade erlangte das Chlor im Speichel erst dann, als durch künstliche Mittel der Gehalt des Serums an Chlor emporgetrieben war.

Ob nun aber der Chlorgehalt des Unterkiefedrüsenspeichels nicht noch über 0·38 Procent hinausgehen könne, bleibt unentschieden, weil das von mir zur Anregung der Speichelabsonderung benutzte Mittel seine Dienste von dem Augenblick an versagte, in welchem 100 Theile Serum 0·7 Chlor enthielten. Nach dem durch Versuch 12 gegebenen Nachweis hat es bei einem Chlorgehalt des Serums von dieser Höhe nicht mehr gelingen wollen, die geringste Menge von Speichel auch dursh die kräftigsten Reize hervorzulocken. Ob ein unmittelbarer Angriff auf die Chorda von einem besseren Erfolg begleitet gewesen wäre, muss ich dahingestellt sein lassen.

Die sensible und motorische Peripherie in ihrem Verhalten gegen die Körper der Physostigmingruppe einerseits und der Atropin-Cocaïngruppe andererseits.

Von

Dr. H. Alms,
Assistenten am pharmakologischen Institut der Universität Breslau.

(Aus dem pharmakologischen Institut der Universität Breslau.)

Es ist von Filehne[1] ausgesprochen, dass man die Körper der Calabargruppe, Physostigmin und Pilocarpin, auf Grund ihrer Wirkung als den Alkaloïden der Belladonnagruppe, den in ihrer chemischen Constitution bereits erkannten Tropeïnen, in chemischer Beziehung nahe stehend voraussetzen müsse. Dieser Anschauung könnte zwar die Thatsache zu widersprechen scheinen, dass Physostigmin und Pilocarpin Antagonisten des Atropins u. s. w. sind. Indessen: konnte schon überhaupt das Angreifen der Körper beider Gruppen an denselben physiologischen Organen ihre chemische und pharmakologische Zusammengehörigkeit vermuthen lassen, so lag ein besonderer Grund hierfür in der weiteren Thatsache, dass einerseits Physostigmin und Pilocarpin bei Application grösserer Dosen die Secretionen u. s. w. schliesslich ebenfalls lähmen, andererseits sich für Atropin, namentlich aber für Homatropin und Hyoscin unter Beobachtung bestimmter Versuchsbedingungen, speciell unter Anwendung kleiner Dosen, ein ausgesprochenes Stadium der Erregung der später von ihnen gelähmten Functionen nachweisen lässt.

Den Körpern der Belladonnagruppe ist nun ferner sämmtlich,[2] ebenso wie dem nachgewiesenermaassen denselben chemisch nahestehenden Cocaïn, eine Wirkung auf die sensiblen Nervenendigungen, und zwar eine local

[1] Cloëtta-Filehne, *Lehrbuch der Arzneimittellehre.* 1887. S. 77.

[2] Filehne, Die local-anaesthesirende Wirkung von Benzoylderivaten. *Berliner klinische Wochenschrift.* 1887. Nr. 7.

anaesthesirende, eigen, und es war daher mit Rücksicht auf die Annahme einer principiell gleichartigen Wirkung der in Rede stehenden Körper von Interesse nachzusehen, ob die Einwirkung auf die sensible Peripherie sich auch für Physostigmin und Pilocarpin nachweisen lasse. Fand derartiges statt, so war zu erwarten, dass hierbei zunächst eine Steigerung der sensiblen Erregbarkeit der Applicationsstelle eintreten würde, welcher möglicherweise dann eine locale Anaesthesie folgen könnte, und des ferneren verlohnte es sich nunmehr nachzusehen, ob nicht bei den sogenannten localen Anaestheticis, Cocaïn, Atropin u. s. w., der Anaesthesie ebenfall ein Stadium der Ueberempfindlichkeit vorangehe.

Ich habe zu diesem Zwecke nach Analogie meiner bereits publicirten Versuche über die Wirkung des Cocaïns auf die peripherischen Nerven [1] an enthirnten und entbluteten Fröschen die eine hintere Extremität mit verschieden starken wässerigen Lösungen von Physostigminum salicylicum bezw. Pilocarpinum hydrochloricum sorgfältig bestrichen, nach einiger Zeit mit reinem Wasser abgespült und die Sensibilität vorher und nachher in der Weise geprüft, dass beide Extremitäten in eine $^1/_3$ bezw. $^2/_3$procentige Lösung der officinellen etwa 25procentigen Salzsäure getaucht wurden, welche, wie ich (a. a. O.) ausgeführt habe, die Haut der Frösche „schmerzhaft reizt, ohne dieselbe materiell zu verändern oder die Sensibilität nach einiger Zeit zu beeinträchtigen.“ Und in der That zeigte sich, besonders bei Anwendung schwacher Lösungen, dass die Sensibilität eine deutlich ausgesprochene Steigerung erfährt, welcher bei Anwendung mittlerer Concentrationen resp. grösserer Dosen eine vollständige Anaesthesie folgt. Starke Lösungen haben von vornherein eine absolute Unempfindlichkeit der sensiblen Endigungen zur Folge.

Zum Belege des Angeführten mögen folgende Protocolle dienen:

A. Physostigmin.

I. Mittelgrosse Rana esculenta, enthirnt und entblutet.

10 h 40 m.	Prüfung der Sensibilität der hinteren Extremitäten durch Eintauchen in $^2/_3$procentige Salzsäurelösung:
	L. Extr. wird nach 5 Sec. unter wischenden Bewegungen herausgezogen.
	R. Extr. nach $5^1/_2$ Sec.
10 h 42 m.	R. h. Extr. mit 0·05 proc. Physostigminsalicylatlösung bestrichen.
10 h 47 m.	Abgespült mit reinem Wasser.
10 h 50 m.	Prüfung der Sensibilität:
	L. Herausziehen nach 5 Sec.
	R. „ „ 7 „
10 h 55 m.	L. „ „ $4^1/_2$ „
	R. „ „ 2 „ Lebhaft wischende Bewegungen.

[1] *Dies Archiv.* 1886. Supplementband. S. 293.

11 h 5 m.	L. Herausziehen nach 5 Sec.	
	R. „ „ 3 „	Bewegungen viel stärker, als links.
11 h 35 m.	L. „ „ 4 „	
	R. „ „ 1 „	
11 h 50 m.	Prüfung der Sensibilität mit $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung.	
	L. Herausziehen nach 6 Sec.	
	R. „ „ 2 „	
12 h 50 m.	L. „ „ 6 „	
	R. „ „ 3 „	
1 h 25 m.	L. „ „ 8 „	
	R. „ „ 3 „	

Versuch abgebrochen.

II. Mittelgrosse Rana esculenta, enthirnt und entblutet.

12 h 15 m. Prüfung der Sensibilität der hinteren Extremitäten durch Eintauchen in $^1/_3$ procentige Salzsäurelösung:
Beiderseits Herausziehen nach 12 Sec. unter mässig starken wischenden Bewegungen.

12 h 17 m. Prüfung der Sensibilität mit $^2/_3$ proc. Salzsäurelösung:
Beiderseits Herausziehen nach 4 Sec.

12 h 20 m. R. h. Extr. wird mit $^1/_3$ proc. (gesättigter) Physostigminsalicylatlösung bestrichen.

12 h 25 m. Abgespült mit reinem Wasser.

12 h 30 m. Prüfung der Sensibilität:

	mit $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung.	mit $^2/_3$ proc. Salzsäurelösung.	
	R. Herausziehen nach 17 Sec.	R. Herausziehen nach 2 Sec.	
	L. „ „ 16 „	L. „ „ 4 „	
12 h 37 m.	R. „ „ 4 „	R. „ „ 2 „	Beweg. r. stärker als l.
	L. „ „ 13 „	L. „ „ 5 „	
12 h 47 m.	R. „ „ 4 „	R. „ „ 2 „	desgl.
	L. „ „ 12 „	L. „ „ 4 „	
1 h	R. „ „ 8 „		
	L. „ „ 11 „		

1 h 20 m. R. wie links Herausziehen nach 10 Sec.

1 h 25 m. R. h. Extr. zum zweiten Mal mit $^2/_3$ proc. Physostigminsalicylatlösung bestrichen.

1 h 38 m. Abgespült mit reinem Wasser.

1 h 40 m. Prüfung der Sensibilität:

	mit $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung.	mit $^2/_3$ proc. Salzsäurelösung.
	R. Herausziehen nach 13 Sec.	R. Herausziehen nach 3 Sec.
	L. Zucken nach 9 Sec. Herausziehen nach 10 Sec.	L. „ „ 2 „
1 h 50 m.	R. Herausziehen nach 16 Sec.	R. „ „ 5 „
	L. „ „ 13 „	L. „ „ 3 „

1 h 55 m. R. h. Extr. zum dritten Mal mit $^2/_3$ procentiger Physostigminsalicylatlösung bestrichen.

2 h 12 m. Abgespült mit reinem Wasser.

2 h 15 m.	Prüfung der Sensibilität:	
	mit $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung.	mit $^2/_3$ proc. Salzsäurelösung.
	R. Zucken nach 19 Sec., Herausziehen nach 21 Sec.	R. Herausziehen nach 6 Sec.
	L. Zucken nach 7 Sec., Herausziehen nach 9 Sec.	L. „ „ 2 „
2 h 50 m.	R. leichtes Zucken nach 18 Sec. nachher bleibt die Extr. in der Lösung, ohne ein Zeichen von Reaction.	
	L. Herausziehen nach 7 Sec.	
2 h 55 m.	R. keine Reaction mehr.	R. Keine Reaction mehr.
	L. Herausziehen nach 7 Sec.	L. Herausziehen nach 5 Sec.
3 h	Derselbe Befund.	Derselbe Befund.

Stärkste faradische Reizung der r. Extremität hat keine Reaction mehr zur Folge.

B. Pilocarpin.

III. Kleine Rana esculenta, enthirnt und entblutet.

12 h 13 m.	Prüfung der Sensibilität der hinteren Extremitäten durch Eintauchen in $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung:				
	R. Herausziehen	nach	7	Sec.	
	L. „	„	9	„	
12 h 15 m.	L. h. Extr. mit 2·5 proc. Lösung von Pilocarpinum hydrochloricum bestrichen.				
12 h 30 m.	Abgespült mit reinem Wasser.				
12 h 32 m.	Prüfung der Sensibilität:				
	L. Herausziehen	nach	8	Sec.,	lebhaft wischende Bewegungen.
	R. „	„	12	„	
12 h 45 m.	L. „	„	6	„	
	R. „	„	11	„	
1 h	L. „	„	5	„	
	R. „	„	10	„	
1 h 6 m.	L. „	„	5	„	
	R. „	„	8	„	
1 h 15 m.	L. „	„	4	„	Sehr energische Bewegungen.
	R. „	„	10	„	
1 h 45 m.	L. „	„	6	„	
	R. „	„	8	„	

IV. Mittelgrosse Rana esculenta, enthirnt und entblutet.

12 h 30 m.	Prüfung der Sensibilität der hinteren Extremitäten durch Eintauchen in $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung:
	Beiderseits Herausziehen nach 3 Sec.
12 h 40 m.	L. h. Extr. mit 7·5 proc. Lösung von Pilocarpinum hydrochloricum bestrichen.
12 h 53 m.	Abgespült mit reinem Wasser.
12 h 55 m.	Prüfung der Sensibilität.
	R. Herausziehen nach 3 Sec. unter energischen Bewegungen.
	L. Herausziehen nach 7 Sec. unter weniger energischen Bewegungen.

Legt man den Frosch auf eine Platte, so wird das rechte Bein gut angezogen, das linke dagegen erst nach gröberen Insulten (Kneifen u. s. w.)

1 h 45 m. R. Herausziehen nach 7 Sec.
L. „ „ 25 „

V. Mittelgrosse Rana esculenta, enthirnt und entblutet.

10 h 55 m. Prüfung der Sensibilität der hinteren Extremitäten durch Eintauchen in $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung:
L. Herausziehen nach 6 Sec.
R. „ „ 8 „

11 h L. h. Extr. mit 20 proc. Lösung von Pilocarpinum hydrochloricum bestrichen.

11 h 30 m. Abgespült mit reinem Wasser

11 h 35 m. Prüfung der Sensibilität:

	mit $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung.	mit $^2/_3$ proc. Salzsäurelösung.
	R. Herausziehen nach 6 Sec.	R. Herausziehen nach 2 Sec.
	L. Keine Reaction.	L. Keine Reaction.
11 h 45 m.		Derselbe Befund.
1 h 15 m.		R. Herausziehen nach 2 Sec.
		L. „ „ 6 „
1 h 40 m.		Beiderseits. „ „ 4 „

Wie wir erwarteten, aber gewiss im Gegensatz zu dem, was nach der sonst allgemeinen Auffassung zu erwarten gewesen wäre, erzeugten auch Cocaïn und Atropin, bei Anwendung schwacher Lösungen, eine Steigerung der Empfindlichkeit im Bereich der Applicationsstelle, wie folgende Versuchsprotocolle zeigen:

A. Cocaïn.

VI. Kleine Rana esculenta, enthirnt und entblutet.

12 h 20 m. Prüfung der Sensibilität der hinteren Extremitäten durch Eintauchen in $^1/_3$ proc. Salzsäurelösung.
L. Herausziehen nach 9 Sec.
R. „ „ 11 „

12 h 23 m. R. h. Extr. wird 2 Min. in 0·1 proc. Lösung von Cocaïnum hydrochloricum getaucht und dann mit reinem Wasser abgespült.

12 h 26 m. Prüfung der Sensibibilität.
L. Herausziehen nach 15 Sec.
R. „ „ 13 „

12 h 32 m. L. „ „ 13 „
R. „ „ 10 „

12 h 40 m. L. „ „ 10 „
R. „ „ 13 „

12 h 45 m. R. h. Extr. wieder 2 Min. in 0·1 proc. Lösung von Cocaïnum hydrochloricum getaucht und dann mit Wasser abgespült.

12 h 50 m.	Prüfung der Sensibilität:
	L. Herausziehen nach 16 Sec.
	R. " " 13 "
12 h 52 m.	L. " " 18 "
	R. " " 14 "
1 h.	L. " " 16 "
	R. " " 19 "
1 h 5 m.	R. h. Extr. wieder 2 Min. in 0·1 proc. Lösung von Cocaïnum hydrochloricum getaucht und nacher mit Wasser abgespült.
1 h 10 m.	Prüfung der Sensibilität:
	L. Herausziehen nach 16 Sec.
	R. " " 13 "
1 h 15 m.	L. " " 17 "
	R. " " 14 "

B. Atropin.

VII. Mittelgrosse Rana esculenta, enthirnt und entblutet.

12 h.	Prüfung der Sensibilität der hinteren Extremitäten durch Eintauchen in $^1/_6$ proc. Salzsäurelösung:
	L. Herausziehen nach $4^1/_2$ Sec.
	R. " " 5 "
12 h 7 m.	R. h. Extr. mit 0·1 proc. Atropinsulphatlösung bestrichen.
12 h 15 m.	Abgespült mit Wasser.
12 h 17 m.	L. Herausziehen nach 5 Sec.
	R. " " 4 "
12 h 25 m.	L. " " $5^1/_2$ "
	R. " " 4 "
12 h 50 m.	L. " " 6 "
	R. " " 4 "
1 h.	L. " " 12 "
	R. " " 4 "

Weiter oben habe ich gezeigt, dass sowohl Physostigmin als auch Pilocarpin im Stande ist, in der sensiblen Sphaere schliesslich die Nervenendigungen ebenso zu lähmen, wie ihr angeblicher Antagonist, das Cocaïn. Für das Physostigmin lagen ferner bisher schon Thatsachen vor, welche bewiesen, dass es bei resorptiver Wirkung (also bei Einwirkung relativ kleiner Mengen), die motorischen Nervenendigungen angreift, sie erregt, und dadurch fibrilläre Muskelzuckungen am Warmblüter erzeugt. Hiernach lag für mich die Frage nahe, ob nicht bei directerer Application dieser Stoffe auf die motorischen Nervenendigungen in ähnlicher Weise eine Lähmung auch dieser entstünde, wie ich sie für seinen sogenannten Antagonisten, das Cocaïn (a. a. O.) bereits nachgewiesen habe. Bei der Entscheidung dieser Frage bot sich mir nun die Schwierigkeit, dass beide Gifte, selbst in ganz geringen Concentrationen, bei der Einspritzung in eine Arterie eine ausgesprochene Veränderung der von diesem Gefäss versorgten Muskelsubstanz bewirken, so zwar, dass letztere wachsartig erscheint und

selbst für die stärksten elektrischen Reize unerregbar ist.[1] Pilocarpin erzeugt diesen Zustand (selbst in 0·5procentiger Lösung), bevor noch die nervösen Elemente gelähmt sind, so dass bezüglich dieses Alkaloids von der Entscheidung der oben angeregten Frage Abstand genommen werden musste. Dagegen liess sich beim Physostigmin durch einen geeigneten Injectionsmodus die Veränderung der Muskelsubstanz soweit umgehen, dass der Nachweis der Lähmung der motorischen Nervenendigungen geliefert werden konnte. Lässt man nämlich die Physostigminlösung unter möglichst geringem Drucke in die Muskelarterien so lange einfliessen, bis stärkste faradische Reizung des Nervenstammes eben keine Reaction des behandelten Muskels mehr veranlasst, so hat letzterer noch ein gutes Aussehen und zeigt auf directe Reizung eine nur wenig geringere Erregbarkeit, als der der anderen, nicht vergifteten Seite.

Als Beispiel diene folgender Vesuch:

VIII. Grosse Rana esculenta; rechter Plexus ischiad. freigelegt, Nervenklemme; rechte Art. cruralis freigelegt und in das untere Ende eine durch einen Gummischlauch mit einem Glastrichter verbundene Glascanüle eingeführt; Bauchvene und und rechte zuführende Nierenvene durchschnitten.

2 h 30 m. Beginn der Injection von $^2/_3$ proc. Physostigminsalicylatlösung bei einer Druckhöhe von 20 cm. Auftreten von fibrillären Muskelcontractionen.

2 h 34 m. Elektrische Reizung des rechten Plexus ischiad. löst keinen Tetanus der Unterschenkelmusculatur mehr aus; Aussetzen der Injection. Es sind im Ganzen 2·3 ccm der Lösung durchgeflossen.

Nach Entfernung der Haut ergiebt directe elektrische Reizung der Unterschenkelmusculatur:

L. erste leise Zuckung bei 290 mm R.-A. (du Bois'scher Schlitten; 2 Daniell)
R. " " " " 270 " "

2 h 40 m. Beide Nn. isch. freigelegt und elektrisch gereizt:

L. Zuckung bei 320 mm Tetanus bei 290 mm R.-A.
R. Kein Tetanus bis R.-A. O.

Wie in dem vorstehenden Versuche, so zeigten sich auch bei anderen, aber nicht immer, vor der Lähmung fibrilläre Muskelcontractionen als Zeichen einer Erregung, welche der Lähmung vorangeht. Sind die Nervenendigungen vorgängig durch Curare gelähmt, so treten bekanntlich bei Physostigminvergiftung die fibrillären Muskelzuckungen nicht auf.

[1] Eine die Muskelsubstanz des Frosches verändernde Wirkung des Physostigmins ist schon früher beobachtet worden. Köhler (*Handbuch der physiologischen Therapeutik.* S. 219) giebt an, dass Calabar direct auf den freigelegten Muskel applicirt, dessen Contractilität aufhebe. Harnack (*Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie.* Bd. V. S. 424) stellt dies jedoch in Abrede. Für meinen Applicationsmodus gilt also die Angabe des erstgenannten Autors.

Sonach hat sich ergeben, dass sowohl Cocaïn, als sein Antagonist Physostigmin bei directer Application die motorischen Nervenendigungen afficiren. Es erschien mir wünschenswerth festzustellen, ob eine derartige Wirkung auch dem eigentlichsten Antagonisten des Physostigmins, dem Atropin zukäme. Bekannt ist ja von dem Atropin eine directe Einwirkung auf die motorischen Nervenendigungen im Sphincter pupillae und Ciliarmuskel und analog eine solche Wirkung auf die Vagusendigungen. Bei meinen Versuchen zeigte sich nun, dass bei directer Injection einer 5procentigen Atropinlösung in eine Muskelarterie im wesentlichen genau dieselben Erscheinngen auftreten, wie nach Physostigmin: Zuerst fibrilläre Zuckungen als Zeichen einer Erregung der motorischen Nervenendigungen (an curarisirten Thieren ausbleibend) und darauf folgende Lähmung wie nach Curare. Einige Zeit nach dem Eintritt dieser Lähmung wird auch die Muskelsubstanz, ganz wie ich es oben für Physostigmin angegeben habe, geschädigt. Lösungen bis zu 2 Procent erzeugen bei längerem Durchleiten früher die Muskelveränderung als die Lähmung der Nervenendigungen.

Fassen wir zum Schluss die Ergebnisse der obigen Untersuchungen zusammen: Die Aufstellung, von welcher wir ausgingen, war die, dass die Substanzen der beiden gemeiniglich als Antagonisten einander gegenüber gestellten Gruppen, nämlich der Atropin- (Cocaïn-) und der Physostigmin- (Pilocarpin-)Gruppe, in Wirklichkeit nur eine, pharmakologisch und chemisch zusammengehörige Gruppe bilden. Welchen physiologischen Appaıat auch immer irgend ein Körper aus dieser Gruppe in hervorragender Weise lähmt, eben denselben lähmt auch jede andere Substanz dieser Gruppe, und dieser Lähmung geht, in allerdings sehr verschieden ausgesprochener Weise — verschieden dem Grade nach, verschieden namentlich der Dauer nach — ein Stadium der Erregung voraus, und nur die Incongruenz dieser Dauer macht z. B. Physostigmin und Atropin zu Antagonisten.

Unter Zugrundelegung dieser Auffassung erwarteten und fanden wir die nach der sonst geläufigen Auffassung gewiss nicht zu vermuthende Thatsache, dass Pilocarpin und Physostigmin schliesslich ebenso gut locale Anaesthetica sind wie die Tropeïne und die Benzoylderivate, Cocaïn u. s. w. Und Analoges gilt für ihre Einwirkung auf die motorische Peripherie.

Ueber die Reactionszeiten der Temperaturempfindungen.

Von

Alfred Goldscheider.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Berlin.)

Vorbemerkungen.

Ueber die Zeiten, innerhalb welcher Temperaturempfindungen zum Bewusstsein gelangen, besassen wir bis vor Kurzem noch keine Angaben Exner hatte bei seiner Untersuchung der „Reactionszeiten“ davon Abstand genommen, Temperaturreize in den Kreis seiner Betrachtungen zu ziehen, in der Voraussicht, dass die Wärmeleitungsgeschwindigkeit durch die Oberhaut und die grössere oder geringere Temperaturdifferenz zwischen Reizobject und Haut eine grössere Rolle spielen würden, als dass man aus den zu gewinnenden Zeitwerthen Schlüsse auf die einzelnen Elemente der Reactionszeit würde ziehen können und dieselben einer vergleichenden Betrachtung gegenüber anderen Sinnesmodalitäten würde unterwerfen dürfen. Die volle Berechtigung dieser Bedenken wird am besten aus den folgenden Mittheilungen selbst hervorgehen, aber zugleich auch, dass die Reactionszeit der Temperaturempfindungen für sich selbst wegen einer bemerkenswerthen Eigenthümlichkeit Interesse in Anspruch nimmt. Ich habe in meiner Arbeit „Neue Thatsachen über die Hautsinnesnerven“[1] S. 10 darauf hingewiesen, dass der zeitliche Verlauf der Kälte- und der Wärmeempfindung ein verschiedener ist, insofern die erstere im Moment der Reizung zu erfolgen scheint, letztere aber erst nach einer gewissen Zeit eine deutliche Höhe erreicht. Schon viel früher war es Herzen aufgefallen, dass Wärme langsamer zur Perception kommt als

[1] *Dies Archiv.* 1885. Supplementband.

Kälte und derselbe hat dies Moment zur Unterstützung seiner Ansicht herbeigezogen, dass die medullaren Leitungswege für beide Qualitäten der Temperaturempfindung verschieden seien. Dieser Forscher hat schon 1878 sich mit den Reactionszeiten der Temperaturempfindungen beschäftigt und gezeigt, dass dieselben für die Wärmeempfindung erheblich länger sind als für die Kälteempfindung (0·50—60 zu 0·25—30) — ebenso wie er schon damals als Erster die Dualität des Temperatursinns behauptete.[1] Einer Mittheilung Herzen's aus dem Jahre 1886[2] entnehme ich, dass Tanzi an vier Personen seine Resultate bestätigt und als Mittel für die Kälteempfindung 0·227, für die Wärmeempfindung 0.507 Sec. gefunden hat. Ferner hat Bolko Stern,[3] welcher unter Oppenheim's Leitung die Sensibilität bei Tabikern untersuchte, angedeutet, dass er bei gesunden Personen eine Incongruenz zwischen Berührungs- und Wärmeempfindung, nicht aber zwischen Berührungs- und Kälteempfindung gefunden habe. Bei Tabes konnte Stern mehrfach eine Verzögerung der Wärmeempfindung um mehrere Secunden constatiren; die Incongruenz zwischen Wärme- und Tastempfindung war um so geringer, je stärker der Wärmereiz war. Ewald[4] hat 1883 bei Tabikern mit verlangsamter Reflexerregbarkeit verschieden temperirte Reize auf Fussrücken und Fusssohle wirken lassen, wobei sich ergab, dass die Reflexbewegung bei Temperaturen von 0·5° C. schneller erfolgte als bei solchen von 50—60° C. Von verschiedenen Beobachtern also wurde übereinstimmend bemerkt, dass in der Zuleitung von Kälte- und Wärmereizen zum Sensorium zeitliche Unterschiede bestehen und in der Absicht, dieser eigenthümlichen Erscheinung näher zu treten, habe ich versucht, die Reactionszeiten der Temperaturempfindungen festzustellen.

Es ist mir nachträglich zur Kenntniss gekommen, dass Hr. Professor v. Vintschgau sich bereits im Jahre 1883 mit dieser Aufgabe beschäftigt hat. Er benutzte zu seinen Versuchen einen Apparat, welcher nach demselben Princip construirt war, wie seine Vorrichtung zur Ermittelung der Reactionszeit der Geschmacks- und Tastempfindungen. Derselbe gestattete, in dem Augenblick, wo ein mit warmem oder kaltem, auf constanter Temperatur erhaltenen Wasser gefülltes Gefäss die Haut berührte, einen Strom zu schliessen. v. Vintschgau hat damals, wegen der noch geringen Zahl von Beobachtungen, keine Zahlenwerthe mitgetheilt; jedoch bereits bemerkt, dass „Unterschiede in den Reactionszeiten bei Erregungen der verschie-

---

[1] *Lo Sperimentale,* de Florence, Oct. 1879. Separat-Abdruck.
[2] *Extrait des Archives des Sciences physiques et naturelles.* Juin 1886. t. XV.
[3] *Archiv für Psychiatrie.* 1886. S. 485.
[4] *Dies Archiv.* 1883. S. 455.

denen Stellen mit Kälte vorzukommen scheinen, welche durchaus nicht bloss durch verschiedene Entwickelung der Epidermis erklärt werden können".[1] Mein in der Berliner physiologischen Gesellschaft über diesen Gegenstand am 17. Juni 1887 gehaltener Vortrag hat v. Vintschgau sodann veranlasst, die Resultate seiner unterdess bereits wieder aufgenommenen Versuche — mit E. Steinach zusammen — in einer vorläufigen Mittheilung niederzulegen.[2]

Methode.

Meine Aufgabe war in erster Linie, die zeitliche Differenz zwischen der Wahrnehmung von Kälte- und Wärmereizen zu constatiren; weiterhin, absolute Werthe bezüglich der Reactionszeiten zu gewinnen, welche eine Vergleichung mit den bekannten Werthen der anderen Sinnesreize erlaubten. Dem ersten Zwecke mussten schon einfach vergleichende Versuche genügen, bei welchen die Bedingungen für die Kälte- und Wärmereize die gleichen waren, speciell die Differenzen der Kältereize einerseits, der Wärmereize andererseits gegenüber der Hauttemperatur entsprechend gewählt wurden. Insofern unter den möglichen Ursachen der zeitlichen Incongruenz beider Empfindungsqualitäten die Verhältnisse der Leitung durch Nerven und Rückenmark sicherlich eine Berücksichtigung erheischen würden, mussten die Versuche an verschiedenen Körpertheilen angestellt werden, wobei die Möglichkeit gegeben war, die letzteren so auszusuchen, dass die Dickenverhältnisse der Oberhaut sich möglichst gleichartig gestalteten. Unter diesen Umständen fiel für die vergleichenden Versuche das aus der Wärmeleitungsgeschwindigkeit in der Oberhaut entsprungene Bedenken fort — nicht aber so für die Ermittelung der absoluten Zeitwerthe. Handelt es sich z. B. darum, die Reactionszeit einer Temperaturempfindung an einer bestimmten Hautstelle mit derjenigen einer Druckempfindung ebendort in Beziehung zu setzen, so wird — da man voraussetzen kann, dass unter allen Umständen ein Druck sich schneller zu den Nervenenden fortpflanzt als eine Störung des stationären Wärmestromes — die erstere ein Plus enthalten, welches der bei der Fortleitung der Wärme zu den Nervenenden absorbirten Zeit entspricht und welches ausser von den allgemeinen und später näher zu betrachtenden physikalischen Eigenthümlichkeiten der Oberhaut von der jedesmaligen Dicke der-

---

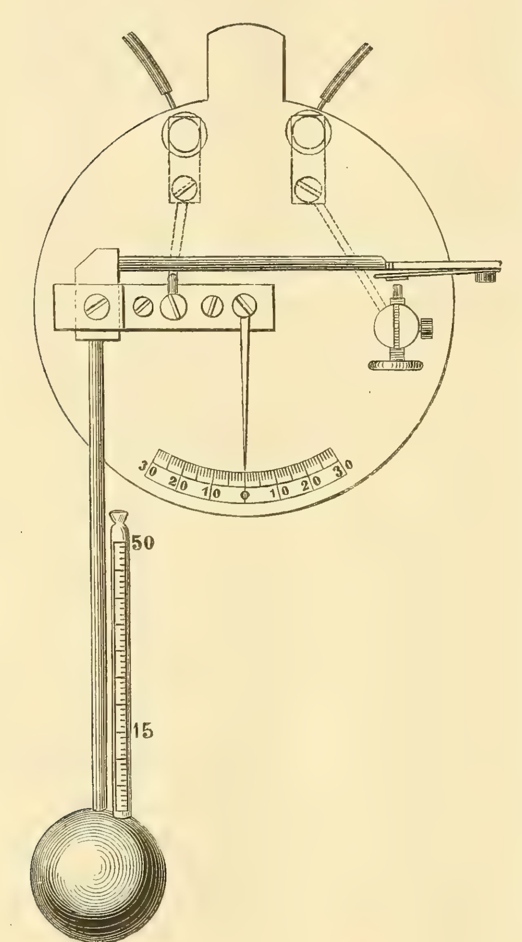
[1] Separat-Abdruck aus den *Berichten des wissenschaftlich-medicinischen Vereins zu Innsbruck.* XIII. Jahrgang. IX. Sitzung vom 16. Februar 1883.

[2] Pflüger's *Archiv* u. s. w. 1887. Bd. XLI. S. 367.

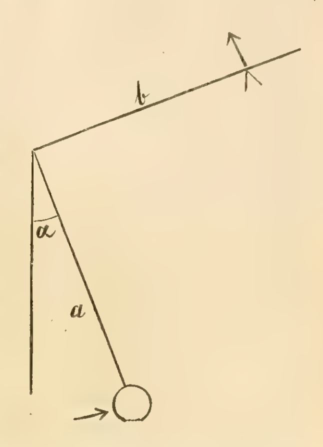
selben und der jedesmaligen Differenz zwischen Reiz- und Hauttemperatur abhängt, und zwar bekanntlich derart, dass die fragliche Zeit umgekehrt proportional der Temperaturdifferenz und proportional der Dicke der trennenden Schicht ist. Wollen wir daher die Bedingungen denen des Druckreizes möglichst gleich machen, so werden wir Stellen mit nicht besonders dicker Oberhaut und maximale Temperaturreize wählen. Da wir dadurch gleichzeitig starke Erregungen der Temperaturnerven setzen, so werden wir die gewonnenen Zeitwerthe mit denjenigen starker mechanischer Reize — bekanntlich sind die Reactionszeiten von der Stärke der gesetzten Erregungen abhängig — zu vergleichen haben. Bezüglich der Auswahl der Stellen gesellte sich noch ein Moment hinzu. Bloch, Exner, Hall und v. Kries, v. Vintschgau und Hönigschmied haben übereinstimmend darauf hingewiesen, dass die Reactionszeit von der jeweiligen Empfindlichkeit der gereizten Stelle abhängig ist. Bei Hall war die Reactionszeit für Reizung des Oberarmes — mit Inductionsschlägen — grösser als für Reizung der Fingerspitze; bei v. Kries betrug der Unterschied nur 0·003 Secunden. Die Erregung des Nackens wurde nur um 0.008—0.006 Secunden früher signalisirt als die der Fingerspitze. Die Reactionszeit bei Reizung der Zungenspitze wurde von v. Vintschgau und Hönigschmied bei fast allen Versuchspersonen kürzer befunden als diejenige bei Reizung der Zungenmitte und des Zungengrundes. Demnach war auch für die Temperaturreize zu erwarten, dass die örtliche Empfindlichkeit eine Rolle spielen würde, und zwar eine um so grössere, als die topischen Differenzen der Empfindlichkeit hier ungemein erheblich sind. Ich verstehe hierbei als Maass der Empfindlichkeit die Intensität der Kälte- oder Wärmeempfindung an verschiedenen Stellen bei gleichem Reiz. Es waren deshalb die verschiedenen Körperstellen so auszuwählen, dass sie sich bezüglich ihrer Empfindlichkeit möglichst nahe kämen und zugleich, um ein Optimum von Reactionszeit zu bekommen, von möglichst grosser Temperaturempfindlichkeit. Es möge hier gleich bemerkt werden, dass, wenn auch diese Verhältnisse von Anfang an gewürdigt wurden, doch ihr Einfluss — wie sich später zeigte — noch bei weitem unterschätzt wurde. Nach diesen Gesichtspunkten gestalten sich also die Versuchsbedingungen in folgender Weise: Es wurden Kälte- und Wärmereize von maximaler Intensität, aber so, dass sie in gleichen Verhältnissen zur Eigentemperatur der Haut standen, angewendet und an verschiedenen Körperabschnitten applicirt. An letzteren wurden die zur Prüfung gelangenden Stellen so ausgesucht, dass sie von grosser und möglichst gleicher Temperaturempfindlichkeit waren und sich auch bezüglich der Dicke der Oberhaut möglichst ähnlich verhielten. — Im weiteren Verlauf wurden, um den Einfluss der Verschiedenheiten der Empfindlichkeit sowie der Reizintensität kennen zu lernen,

nun schliesslich auch Versuche an minder empfindlichen Hautregionen und mit mässigen und schwachen Temperaturreizen angestellt.

Der Apparat, dessen ich mich bediente, war folgendermaassen construirt: Ein mit einer Handhabe versehenes rundes Brett trägt ein Axenlager, in welchem sich ein Winkelhebel dreht. Derselbe besteht aus einem abwärts und einem rechtwinklig dazu seitwärts gehenden Schenkel. Der abwärts gehende Schenkel trägt eine Messingkugel von 2·9 cm Durchmesser und 96·6 grm Gewicht, der wagerecht gerichtete Schenkel ruht mit seinem federnden Ende auf einer ebenfalls in das Brettchen eingelassenen Platinspitze derart, dass die geringste Fortbewegung der Kugel den Contact aufhebt. Axenlager einerseits und Platinspitze andererseits sind mit den verschiedenen Polen eines Elementes verbunden; besteht demnach der Contact, so schliesst der Draht einen Strom, in welchem ein elektrischer Signalschreiber eingeschaltet ist, derart, dass der Moment der Oeffnung und Schliessung je durch eine senkrechte Marke auf der berussten Trommel bezeichnet wird. Die Kugel wird erwärmt oder abgekühlt und dient als Reizobject, indem der zu prüfende Körpertheil gegen sie hin bewegt wird. Das Brettchen wird mittels der Handhabe in einem Stativ befestigt, derart, dass der Kugelarm annähernd senkrecht herabhängt; die Abweichung von der Verticalen kann an einer den unteren Umfang des Brettchens einnehmenden Kreistheilung mittels eines vom Mittelpunkte des Brettes herabhängenden Pendelchens abgelesen werden. Der Zweck dieser Ein-



richtung ist folgender: Der Widerstand, welchen die Kugel der andrängenden Haut entgegensetzt, ist von der Anfangsstellung derselben derart abhängig, dass er mit der Entfernung des Kugelarmes von der Verticalen wächst. Bezeichnen wir die Masse der Kugel mit m und den Winkel, welchen der Kugelarm a mit der Verticalen bildet, mit α, so ist der von der Kugel gegen die Haut ausgeübte Druck $= m.g. \sin \alpha$ (siehe nebenstehende schematische Figur). Ist demnach $\alpha = 0$, d. h. hängt die Kugel senkrecht herunter, so ist auch der Druck derselben $= 0$ — abgesehen von dem aus der Reibung im Axenlager erwachsenden Widerstand. Der Druck, welchen der horizontale Arm b an der Contactstelle auf die Platinspitze ausübt, ist $= m.g. \sin \alpha \cdot \frac{a}{b}$, also in der angenommenen Lage ebenfalls $= 0$. Es ist aber ebenso nothwendig, dass der Contact unter einem gewissen Drucke steht, wie dass die Kugel der Haut einen gewissen Widerstand leiste, da sonst die Berührung nicht innig genug und folglich der Wärmeaustausch unzureichend ist. Lässt man durch Schiefstellen der Holzscheibe α wachsen, so nimmt damit der Druck der Kugel sowie derjenige am Contact zu. Ein gewisses Maass darf jedoch hierbei nicht überschritten werden, da sonst der Widerstand der Kugel so gross wird, dass die Haut eingedrückt wird, ohne sofort die Kugel fortzuschieben. Die geeignetste Stellung des Kugelarmes wurde bei einer Ablenkung von 10 bis 15° gefunden. — Der Moment des Empfindens wurde mittels eines zwischen die Schneidezähne genommenen Beisscontactes signalisirt. Die Zeitmessung geschah mittels der auf 100 Schwingungen abgestimmten elektrischen Stimmgabel; die Aufzeichnung auf einer rotirenden und sich spontan senkenden Kymographiontrommel, derart, dass unmittelbar übereinander der Signalschreiber des Beisscontactes und derjenige des Reizapparates arbeitete, während der Zeitschreiber sich in halber Trommelhöhe über ihnen befand. Hatte sich die Trommel soweit gesenkt, dass der Zeitschreiber am oberen Rande derselben angelangt war, so löste sich durch einen zweckmässig angebrachten Contact ein elektrisches Glockensignal aus, welches das Zeichen zum Sistiren der Trommelbewegung gab. Diese Einrichtung wurde getroffen, um ein Beobachten des Trommelganges — ich machte die Versuche allein — unnöthig zu machen, so dass ich die Aufmerksamkeit ganz auf die Empfindungen concentriren konnte.



Die Ausführung der Versuche geschah hiernach so: nach gehöriger Erwärmung bez. Abkühlung der Kugel wurde der in Frage kommende

Körpertheil in ein solches Lageverhältniss zur Kugel gebracht, dass die zu prüfende Region derselben auf kurze Entfernung direct entgegengerichtet war und zwar in der Ebene ihrer Schwingung. Es genügte jetzt ein einfaches Fortbewegen des Gliedes in einer bestimmten Richtung, um immer die gleiche Partie der Haut mit der Kugel in Verbindung zu bringen und dabei durch leichte Verschiebungen des Gliedes nach oben und unten, nach hinten und vorn die Berührungsstellen wechseln zu lassen. Dies konnte nach einiger Uebung vollkommen bequem bei geschlossenen Augen ausgeführt werden. Natürlich war es nothwendig, die Versuchsregionen so auszusuchen, dass sie sich in der geschilderten Weise activ mit Leichtigkeit appliciren liessen, wodurch die oben entwickelten Bedingungen für die Auswahl der Partien noch um eine vermehrt wurden. Sobald ein Kälte- resp. Wärmegefühl empfunden wurde, gab ich mittels des Beisscontactes das Signal, ohne dass der Trommelgang unterbrochen wurde. Während des gesammten Ablaufes der Trommel wurden mehrfach Ruhepausen gemacht, welche gleichzeitig zur erneuten Erwärmung resp. Abkühlung der Kugel benutzt wurden. Nach Beendigung der Versuchsreihe wurden jedesmal genaue Notizen über die mehr oder minder grosse Deutlichkeit und Intensität der Empfindung und über den Eindruck, welchen ich selbst von der Promptheit der Reactionen gewonnen hatte, gemacht. Bei einem Theil der Versuchsreihen wurde das Brettchen mit der Kugel durch einen Andern meinem Körper genähert.[1] Nachdem an je einer Region eine oder einige Versuchsreihen angestellt waren, wurde dieselbe verlassen, um nach einer Reihe von Tagen, während welcher andere Körpertheile vorgenommen wurden, wieder zu ihr zurückzukehren und wiederum nach einer längeren Pause ein drittes Mal sie aufzusuchen.

Nachdem so das Verfahren skizzirt ist, erscheint es nothwendig, einige Punkte noch einer eingehenderen Besprechung zu unterziehen. — Was zunächst die Form des Reizobjectes betrifft, so war dasselbe bei den ersten Versuchen keine Kugel, sondern ein kurzer, mit der Mantelfläche an dem Hebelarme befestigter solider Cylinder, dessen eine ebene Grundfläche zur Anlegung an den Körper bestimmt war. Diese Vorrichtung war in der Absicht gewählt worden, das zu berührende Stück der Hautoberfläche jedesmal gleich gross zu haben. Allein es zeigte sich sehr bald, dass es nicht möglich war, die Körperoberfläche in genau paralleler Richtung der Cylindergrundfläche gegenüberzustellen. Die Schiefstellung der beiden Flächen aber zu einander hatte naturgemäss eine sehr ungleichmässige Art der Berührung zur Folge. Dazu kam, dass eine ebene Contactfläche an und

---

[1] Die HH. Prof. Gad und Dr. Wurster hatten die Freundlichkeit, mich hierbei zu unterstützen.

für sich als ungeeignet erschien, sobald es sich um Hautregionen von vertiefter Gestalt handelte, wie z. B. Handteller. Dem gegenüber bot die Kugelform den Vorzug, der Plastik der Hautoberfläche sich besser anzupassen und bezüglich der vorbereitenden Haltung des Gliedes nur ein nicht sehr schwer zu erfüllendes Postulat zu stellen: nämlich, dass der betreffende Körpertheil in der Richtung der Drehungsebene der Kugel dieser entgegengeführt werden musste. Dies war in der Praxis deshalb meist leicht auszuführen, weil sich eine mathematische Genauigkeit als unnöthig erwies und bei einer von der Drehungsebene in engen Grenzen abweichenden Richtung der Contact sich immer noch so leicht löste, dass der Zuwachs des Widerstandes sich nicht geltend machte. Allein ein unvermeidlicher Uebelstand der Kugelform besteht nun darin, dass die Grösse und Gestalt des berührten Hautoberflächenstückes bei jedem Einzelversuche anders ausfällt. Es kommt dabei auf die vertiefte oder erhabene Gestalt der Oberfläche und die weiteren Details ihrer Formbildung sowie auf die grössere oder geringere Nachgiebigkeit der Haut an und bezüglich des letzteren Punktes noch besonders darauf, in welcher Richtung dieselbe am leichtesten einzudrücken ist; man bemerkt, wenn man ein Stäbchen gegen die Haut drückt, meistens keinen genau kreisrunden Trichter um das Stäbchen herum, sondern eine mehr längliche Einbuchtung, deren Richtung wohl mit der Faserspannung der Haut in Beziehung stehen dürfte. Von dem bestimmenden Einflusse dieser Factoren kann man sich sehr leicht überzeugen, wenn man zweckmässig ausgewählte Hautstellen mit der Kugel in Berührung bringt, nachdem dieselbe mit einer Russschicht überzogen ist. Man sieht dann, dass die geschwärzten Flächenstücke der Haut von verschiedener Grösse und meist länglicher Gestalt sind. Der Inhalt derselben beträgt — abgesehen von besonders ungünstig gebildeten, speciell stark erhabenen Körpergegenden — meist mindestens 1·5—1·7 □mm. Was die Tragweite dieses Umstandes betrifft, so muss im Allgemeinen als möglich zugegeben werden, dass die Grösse der Reizfläche an sich einen gewissen Einfluss auf die Reactionszeit auszuüben im Stande sei — mit Rücksicht auf die bekannte und unzweifelhafte Thatsache, dass die Intensität der Temperaturempfindung mit der Grösse der Reizfläche wächst. Allein es erscheint mir auf der anderen Seite als sicher, dass die hier in Frage kommenden Unterschiede in der Grösse der Berührungsflächen, welche an und für sich schon wenig erheblich sind, anderen weiter unten näher zu erörternden Verhältnissen gegenüber, nämlich dem Einflusse der Empfindlichkeit, völlig ohne Bedeutung für die Reactionszeit sind. Es möge noch bemerkt werden, dass Stellen von sehr ungünstiger Plastik nur in ganz untergeordneter Weise zur Verwendung gelangt sind, wie aus der Zusammenstellung der Versuchsreihen hervorgehen wird. — Eine weitere, durch die

Kugelform bedingte Eigenthümlichkeit ist es, dass die Innigkeit des Contactes im Bereiche der Berührungsfläche keine gleichmässige ist, vielmehr nach der Peripherie hin abnimmt. Es ist aber zweifellos, dass der Wärmeübergang zur oder von der Kugel zur Dichtigkeit der Anlagerung resp. der Compression der Haut in Abhängigkeit steht, somit auch die Reizung der Nervenenden und die Intensität der Empfindung. Belegt wird dies durch die Erfahrungen Nothnagel's, dass schwerere Scheiben wärmer erscheinen als leichtere von gleicher Temperatur. Man kann auch eine directe Beeinflussung der zur Durchleitung der Oberhaut erforderlichen Zeit voraussetzen, insoweit durch Ausglätten der natürlichen Unebenheiten der Hautoberfläche die factische Berührungsfläche vergrössert, durch Verdrängung dort enthaltener Luft Leitungshindernisse entfernt, durch Compression der Oberhaut der Querschnitt der zu durchleitenden Schicht verkleinert wird. Es werden deshalb innerhalb der Berührungsfläche gewisse Theile schneller und stärker gereizt werden als gewisse andere, ein Umstand, welcher im Verein mit später zu besprechenden Verhältnissen eine besondere Bedeutung erlangen wird. Hierzu gesellt sich noch ein anderes, aber minder gewichtiges mechanisches Moment, nämlich, dass eben die Theile, an welchen die Berührung am innigsten ist, auch zuerst getroffen werden, während die mehr peripherisch gelegenen erst in der Folge von der Kugeloberfläche erreicht werden; allein dieser Zeitunterschied dürfte gegenüber den unten mitzutheilenden Varianten der Zeitwerthe nur von geringem Belang sein. — Ohne Rücksicht auf die Form des Reizobjectes ist für die Innigkeit des Contactes eine Eigenschaft der Haut selbst von Bedeutung, nämlich ihre Verschiebbarkeit; richtet sich der Druck der Kugel in gleicher Stärke einmal auf eine Hautstelle mit lockerem Unterhautzellgewebe, ein anderes Mal auf eine straffe Hautstelle, so wird im ersten Falle ein Theil des Druckes in Arbeit umgesetzt, indem die Kugel die Haut vor sich her schiebt, während im letzten Falle in Folge des Widerstandes der Haut der Druck in viel wirksamerer Weise für die Anlagerung der Kugel an die Hautoberfläche zur Geltung kommt. Man vergleiche in dieser Beziehung z. B. Handteller mit der Haut am Abdomen. — Endlich ist bezüglich der Kugelform hervorzuheben, dass bei derselben, da die Kugel doch nicht bis zu ihrem Aequator in die Haut eintaucht, die Verhältnisse für eine gleichzeitige Bestrahlung der Haut besonders günstige sind. Jedoch kommt — wie später erörtert werden wird — die erwärmende resp. abkühlende Wirkung der Bestrahlung um so viel später und schwächer zur Geltung, dass während der für einen Versuch erforderlichen Zeit eine Störung der Empfindung durch die Bestrahlung oder gar eine Reaction auf letztere sich nicht zuträgt.

Der von mir angewendete Modus der Selbstreizung bedarf einer

motivirenden Erörterung, da er von der gewöhnlich bei Reactionszeitbestimmungen beliebten Methodik abweicht. Nachdem, wie bereits gesagt, das betreffende Glied in ein passendes Lageverhältniss zur Kugel gebracht war, wurde es mit einer gewissen eingeübten Geschwindigkeit gegen die letztere bewegt und so lange mit derselben in Contact gehalten, bis eine Empfindung und Reactionsbewegung erfolgt war. So entstand also durch das Zurückführen des Körpertheiles keine Störung, da dasselbe in die Pause zwischen je zwei Reactionen fiel. Dagegen könnte allerdings das active Zuführen bedenklich erscheinen. Jedoch sind es gewichtige Gründe, welche die Entscheidung für letzteres Verfahren fällen liessen. Zunächst nämlich bietet dasselbe die Möglichkeit, den von der Kugel gegen die Haut ausgeübten Druck ziemlich constant zu machen und zwar dadurch, dass die Kugel soeben aus ihrer Lage bewegt wird, ohne wesentlich gehoben zu werden; hierzu ist eine gewisse Geschwindigkeit der Bewegung nothwendig, welche leicht eingeübt werden kann. Freilich kann sich auch eine assistirende Person darauf einüben, das Brett mit der Kugel in entsprechender Weise mit einer abgestuften Geschwindigkeit gegen den ruhenden Körper zu bewegen, allein das eigene Gefühl giebt hier eine besonders befriedigende Sicherheit und zugleich eine Controle über einzelne mit unterlaufende schlecht ausfallende Bewegungen; vornehmlich kann man auf diese Weise zu starke Bewegungen leichter vermeiden, welche ausser den beregten Abweichungen in den Leitungsverhältnissen noch den Nachtheil haben, durch Erregung einer ausserordentlich starken Druckempfindung die Auffassung zu stören. Es liegt auf der Hand, dass das eigene Gefühl der Bewegung eine besondere Gewähr für Herbeiführung einer das geeignete Maass innehaltenden Bewegung verleiht. Es fragt sich aber, ob dieser directe Vorzug der activen Methode nicht durch die Gefahr aufgehoben wird, dass durch die auf die Vollführung der Bewegung zu verwendende Aufmerksamkeit die für die erwartete Empfindung nöthige Spannung und Reactionsbereitschaft geschwächt wird. Allein dies ist nicht der Fall, sobald die zu ertheilende Bewegung eingeübt worden ist. Eine wirkliche Captivirung der Aufmerksamkeit findet nur in dem Moment statt, wo nach Etablirung des Gliedes in einem bestimmten Lageverhältniss der erste Willensimpuls zur Fortschiebung desselben ausgelöst wird. Die Fortsetzung dieser Bewegung vollzieht sich ohne Benöthigung einer besonderen Aufmerksamkeit, in der Art, wie fortwährend eine ganze Menge von coordinatorischen Leistungen vor sich geht, ohne dass wir in der Richtung unserer Aufmerksamkeit dadurch gestört würden. Zwischen dem bewussten Willensimpuls und der eintretenden Empfindung vergeht aber eine Zeit von genügender Länge, um die Aufmerksamkeit ganz auf die letztere zu concentriren. Die Richtung der Aufmerksamkeit auf die in dem bewegten Gliede

auftauchende Empfindung wird nun, wie mir erschienen ist, durch die active Bewegung geradezu erleichtert. Die Anspannung, in welcher man sich bei Erwartung der Empfindung verhält, bekommt durch das Gefühl des Bewegtwerdens, wenn ich mich so ausdrücken darf, eine bestimmte örtliche Direction und wird dadurch eine viel wirksamere, als wenn eine völlige Leere des Bewusstseins besteht; in letzterem Falle nämlich vermag sich die Aufmerksamkeit überhaupt nicht lange rege zu erhalten und wird, wenn eine bestimmte Richtung derselben nicht ausgesprochen ist, durch alle möglichen, sonst unbemerkten Dinge abgelenkt. — Ein anderes Bedenken gegen die Selbstreizung besteht darin, dass die active Bewegung ein Avertissement bedeutet, insofern als in einem wenig variirenden und durch die Erfahrung gelehrten Zeitraum nach Auslösung des Willensimpulses die Berührung der Kugel eintritt. Jedoch sind die zwischen Kugelberührung und Beginn der Temperaturempfindung vergehenden Zeiten so ungleichmässig, dass hierdurch der Charakter eines rhythmisch-wiederkehrenden Reizes verloren geht. In dieser Verschiedenartigkeit der Zeitwerthe, welche, wie wir sehen werden, ceteris paribus von der Empfindlichkeit der je getroffenen Stelle abhängt, liegt ein Umstand, welcher die eben berührte Gefahr nothwendig und mit Sicherheit aufhebt und die Versuchsperson durchaus nöthigt, die active Bewegung als Merkmal für eine etwaige rein centrale Zeitschätzung zu ignoriren. Ausserdem zeigen die Werthe, dass vorzeitige oder mit dem Reiz gleichzeitige oder überhaupt zu kurze Reactionen keineswegs häufig vorgekommen sind,[1] dass vielmehr dieselben eher auffallend gross als auffallend klein genannt werden können. — Schliesslich bot mir das active Verfahren eine gewisse Bequemlichkeit und Sicherheit bezüglich des jedesmaligen Wechsels der Berührungsstelle, der Wahl gutempfindlicher und der Auslassung minderempfindlicher Stellen. Im Uebrigen haben sich bezüglich solcher Reactionen, welche als fehlerhaft oder schlecht zu bezeichnen wären, Unterschiede zwischen Selbstreizung und Reizung durch eine andere Person nicht ergeben. Wenn die Werthe bei letzterem Verfahren zum Theil noch etwas grösser ausgefallen sind als bei ersterem, so ist in etwaigen verfrühten Reactionen, wie schon bemerkt, der Grund nicht gelegen, sondern in der besseren Möglichkeit gutempfindliche Stellen zu treffen, schlechte zu vermeiden.

Ein Umstand, welcher bei der Erregung von Temperaturempfindungen, wenn man nicht mit strahlender Wärme arbeitet, unvermeidlich ist, besteht in der damit verbundenen Druckempfindung. Diese könnte zu Bedenken verschiedener Art Veranlassung geben. Es wäre möglich, dass da-

---

[1] Vergl. Exner, Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Processe. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. VII. S. 641.

durch die Aufgabe der Versuchsperson und somit auch ihre Leistung eine complicirtere ist, als einfach auf das Merklichwerden einer Temperaturempfindung zu reagiren, insofern sich derselben zwei verschiedene Sinnesempfindungen präsentiren, von denen nur die eine reactionspflichtig ist. Es wäre somit für die Versuchsperson eine Wahl erforderlich, welche eine Unterscheidung beider Empfindungen zur Voraussetzung hätte; dies Verhältniss würde weiter mit sich bringen, dass in einer gewissen Anzahl von Einzelversuchen vielleicht fälschlicher Weise auf die Druckempfindung reagirt würde oder, selbst wenn man diese Folgerung als nicht unbedingt nothwendig fallen liesse, dass die Reactionszeit überhaupt doch jedenfalls eine durch den Vorgang des Unterscheidens gesetzte Verlängerung („Unterscheidungszeit" in dem v. Kries'schen Sinne) erlitte, so dass demnach die gewonnenen Werthe nicht als einfache Reactionszeiten zu deuten, die letzteren vielmehr kleiner und erst nach Abzug eines gewissen Werthes von jenen zu eruiren wären. Allein eine Nothwendigkeit, eine Unterscheidung zu treffen, liegt hier gar nicht vor; bei den v. Kries'schen Versuchen werden zwei Eindrücke, z. B. zwei Farben, in beliebigem Wechsel vorgeführt, von denen nur auf die eine zu reagiren ist. Hier aber sind stets die beiden Eindrücke nothwendig verknüpft und es wird uns nie die Frage gestellt: Reagiren oder Nichtreagiren? sondern wir haben in jedem Versuch zu reagiren und nur abzuwarten, bis die erwartete Qualität der Empfindung erscheint. Es wird demnach das Druckgefühl ebenso vernachlässigt, wie etwa das Geräusch des Signalschreibers. Erleichtert wird dies dadurch, dass die Temperaturempfindungen meistens sehr merklich später percipirt werden als die Druckempfindungen. Das eigene Gefühl, dass nach einiger Uebung die Nichtbeachtung der Druckempfindung keine Schwierigkeiten mehr macht, ist ein ganz sicheres und findet eine objective Bewahrheitung in dem Factum, dass eine Aehnlichkeit der Werthe für die Reactionszeiten der Temperaturempfindungen und der Druckempfindungen nicht besteht, weder nach absoluter Grösse — die intensiveren Kälteempfindungen ausgenommen — noch nach den Schwankungen um den Mittelwerth, dass daher eine Verwechslung beider Qualitäten und fälschliches Reagiren auf die Druckempfindung unter Voraussetzung genügender Einübung nicht als Fehlerquelle zu fürchten ist. Gewichtiger erscheint ein anderes Bedenken, dass nämlich die Druckempfindung factisch den Beginn der Temperaturempfindung in der Wahrnehmung verdecken möchte, dass also eine Temperaturempfindung, welche an und für sich schon merklich sein könnte, unter den bestehenden Verhältnissen erst merklich wird, wenn die Druckempfindung abgeblasst ist. — Die letztere hält zwar bei dem geschilderten Verfahren während des ganzen Versuches an, da der Contact so lange anhält, allein sie ist doch im ersten Moment am deutlichsten. Jedoch fällt

für Kältegefühle dieser Einwand schon deshalb fort, weil dieselben einen viel grösseren sinnlichen Eindruck als Druckgefühle machen. Eher könnte man bei Wärmegefühlen an ein Verdecken durch die Druckempfindungen denken, da namentlich der Beginn derselben — sie verlaufen anschwellend — schwer wahrzunehmen ist. Allein ich muss auch für sie in Anspruch nehmen, dass es mit vollkommener Sicherheit gelingt, sie neben der Druckempfindung und zwar in ihren ersten Anfängen zu erkennen, besonders da bei einem grossen Theil der auszulösenden Wärmeempfindungen der Beginn derselben noch merklich hinter dem ersten Abklingen des Druckgefühls liegt.

Was die der Kugel zu ertheilende Temperatur betrifft, so ist bereits erörtert worden, wie wir in Folge einer einfachen Erwägung dazu gelangt waren, in der Hauptsache maximale Reize anzuwenden. Als solcher ergab sich für die Wärmeempfindung ein Temperaturgrad von 49—50° C. Um die Grösse des Kältereizes, d. h. die Differenz der kalten Kugel von der Hauttemperatur der Grösse des Wärmereizes nach Möglichkeit gleich zu machen, wurde als entsprechende Kugeltemperatur eine solche von ca. 14—15° C. gewählt, unter Annahme einer mittleren Hauttemperatur von 31—32° C. Von einer jedesmaligen Messung der Kugeltemperatur konnte bei Anwendung des folgenden Verfahrens und in Erwägung einiger anschliessend mitzutheilender Umstände Abstand genommen werden. Die Kugel wurde nämlich im Allgemeinen über einer Spiritusflamme soweit erhitzt, dass sie bei der Berührung Schmerz erregte. Nun liess ich sie, während alles zur Versuchsreihe vorbereitet war, in der Luft abkühlen und schritt, sobald sie ein eben nicht mehr schmerzhaftes heisses Gefühl gab, zum Versuch. Während der Versuchsreihe wurde die Kugel je nach Bedürfniss, d. h. nach Maassgabe der Intensität der Wärmeempfindung, wieder angewärmt. Behufs Abkühlung wurde die Kugel eine Zeit lang in Wasser von 14° C. getaucht und sodann mit Fliesspapier getrocknet. Auch diese Procedur konnte während der Versuchsreihe jederzeit wiederholt werden, sobald die anfängliche intensive Kälteempfindung nachzulassen begann. Auf diese Weise gelang es, die gewünschten Temperaturen während der Dauer einer Versuchsreihe in den erlaubten Grenzen der Schwankungen herzustellen, wobei ich bemerke, dass ich nicht verfehlt habe, in dieser Beziehung eine Controle anzustellen. Die Kugel wurde zu diesem Zwecke später mit einer sie fast ganz durchsetzenden cylindrischen Bohrung versehen, in welcher ein *ad hoc* gefertigtes Thermometer mit seinem cylindrischen Quecksilbergefäss versenkt wurde; die das letztere ziemlich dicht umschliessende Bohrung wurde dann noch mit feinen Kupferblechstückchen ausgestopft.

Zunächst konnte hiermit festgestellt werden, dass, wenn man die Kugel

nicht einmal vollständig — so dass das Thermometer selbst nicht berührt wurde — in kaltes oder warmes Wasser eintauchte, dasselbe doch schon nach kurzer Zeit die Wassertemperatur angab. Es wurde nun bei einer Lufttemperatur von 20° C., wie sie im Laboratorium bei der Anstellung der Versuche gewöhnlich herrschte, folgendes ermittelt:

Die auf 15° abgekühlte Kugel steigt innerhalb 3 Minuten um 0·5° (die Kugel wurde, wenn sie gekühlt worden war, jedesmal schnell mit Fliesspapier abgetrocknet). Wird sie wechselnd mit dem warmen Arm berührt und aus ihrer Lage gehoben, so steigt sie nach 10maliger Berührung — $^3/_4$ Minuten — ebenfalls um 0·5°, nach 10maliger Berührung in $1^1/_2$ Minuten um 1°. Die Berührungen dauerten übrigens erheblich länger als bei den Reactionsversuchen.

Die auf 20° temperirte Kugel — Lufttemperatur — steigt nach 10maliger Berührung nur eine Spur.

Die auf 29° — in Wasser — temperirte Kugel sinkt in 1 Minute bei 10maliger Berührung um 0.5°, ohne Berührung um ein wenig mehr.

Die auf 50° erwärmte Kugel nimmt in 1 Minute um 2°, in 2 Minuten um 4° ab, bei 20maliger Berührung in 1 Minute um 2·5°, bei 10maliger Berührung in 1 Minute um $2^1/_4$°.

Dass die Veränderung bei der erwärmten Kugel bedeutender ist, erklärt sich aus der grösseren Differenz gegen die Lufttemperatur. Die Veränderungen der Eigentemperatur bei der kalten Kugel sind demnach unerheblich; wichtiger dagegen diejenigen der warmen Kugel. In dieser Beziehung war nun aber schon angeführt, dass gerade für diese sich ein zuverlässiger und bequemer Maassstab dadurch bot, dass man die Kugel durch oft wiederholtes Nachwärmen dicht unterhalb einer schmerzerregenden Temperatur erhielt.

Dass die Temperaturschwankungen in diesem Umfange einen sehr merklichen Einfluss auf die Reactionszeit nicht ausgeübt haben, geht schon daraus hervor, dass die Einzelwerthe nur gelegentlich ein Ansteigen in einer Gruppe von 3—4 Werthen, im Allgemeinen dagegen eine bunte Folge von kleineren und grösseren Beträgen erkennen lassen. Es sind jedoch noch besondere Versuche in der Richtung angestellt worden, den Einfluss der Temperaturhöhe auf die Reactionszeit zu ermitteln, welche nachher ausführlicher zu besprechen sind und von denen vorgreifend hier mitgetheilt sein möge, dass sie zwar einen ausgesprochenen Einfluss der Reiztemperatur ergeben haben, jedoch immerhin nur einen solchen, welcher bei den durch die beschriebene Versuchseinrichtung überhaupt möglichen Temperaturschwankungen nur sehr geringe Zeitdifferenzen, schätzungsweise etwa solche von 0·01—0·02—0·03 Secunde, erzeugen dürfte, — solche aber sind zumeist gegenüber anderen, viel mehr bestimmenden Momenten

verschwindend. Zu betonen ist endlich, dass bei diesen und anderen Versuchsreihen, welche mit constanter, thermometrisch regulirter Kugeltemperatur angestellt wurden, die Schwankungen der Einzelwerthe in ganz ähnlicher Weise hervortraten und dass die in unseren Reihen vorhandenen, für unsere sonstigen Begriffe von Reactionszeiten ganz auffallenden Verschiedenheiten der Resultate durch Schwankungen der Reiztemperatur jedenfalls nicht veranlasst sind.

Ausser den maximalen Reizen wurden, um den Einfluss der Reizstärke resp. Empfindungsintensität zu ermitteln, auch noch schwächere Reize in Anwendung gezogen.

Den zur Berechnung verwendeten Versuchen sind solche vorhergegangen, welche lediglich die Einübung, sowohl nach Richtung der Versuchstechnik überhaupt, wie auch der Auffassung der Empfindungen, verfolgten. Es mag damit in Zusammenhang stehen, dass ein weiterer Einfluss der Uebung sich wenigstens in der Gestaltung der Zahlen nicht geltend machte, obwohl der sich über die verschiedenen Körpertheile erstreckende Turnus mehrfach in derselben Weise wiederkehrte.

Hinsichtlich der Berechnung sind die Meinungen darüber getheilt, ob man alle erhaltenen Werthe zu verrechnen habe, oder ob es erlaubt resp. geboten sei, gewisse Werthe zu streichen. Ich habe hier den von Exner und v. Kries vertretenen Standpunkt zu dem meinigen gemacht, nämlich, dass man ohne eine Streichung gewisser Werthe zu absoluten Zahlen nicht wohl gelangen kann. Es handelt sich hierbei nicht um jene Schwankungen nach oben und unten, wie sie der Ausdruck der complicirten Bedingungen sind, unter welchen der von uns studirte Nervenmechanismus arbeitet, sondern um Einzelfälle, bei welchen derselbe offenbar überhaupt nicht richtig functionirt hat, insofern er in regelwidriger Weise in Thätigkeit versetzt oder durch ausserhalb seiner selbst gelegene Umstände gestört wurde, und um solche, bei denen er zwar an sich richtig functionirt hat, aber unter Bedingungen, welche durch äussere Zufälligkeiten von den zu erforschenden abwichen. So hat z. B. bei denjenigen „Reactionen", welche vor dem Reiz, gleichzeitig mit ihm oder einige Hundertstel von Secunden nach ihm eingetreten sind, der Mechanismus in der zu ermittelnden Weise gar nicht gespielt, insofern die motorische Bahn nicht von der sensiblen der Temperaturnerven her, sondern in ganz anderer und für unseren Zweck werthloser Art in Erregung versetzt worden ist. Ebenso können uns auch Werthe, welche nach oben hin „aus der Reihe fallen", über das normale Arbeiten des Mechanismus nicht belehren. Sie können z. B. dadurch veranlasst sein, dass an einer sehr kälteempfindlichen Region zufällig eine relativ unempfindliche Stelle getroffen wird — die Reactionszeit zeigt eine grosse Abhängigkeit von der localen Empfindlichkeit — und

der so entstandene und bezüglich seiner Grösse vereinzelt dastehende Werth verdankt dann seine Herkunft trotz richtigen Functionirens des nervösen Apparates Bedingungen, welche den zu ermittelnden nicht congruent sind. Die beigegebene „statistische“ Anordnung der Werthe lehrt, dass ein künstliches Nivellement der Schwankungen durch die Streichung keineswegs erfolgt ist. Dieselben bewegen sich vielmehr immer noch in auffallend weiten Grenzen. Eine nennenswerthe Beeinflussung der Durchschnittswerthe hat ebensowenig stattgefunden.

Den Eingangs entwickelten Forderungen, dass die Prüfungsregionen der verschiedenen Körpertheile möglichst gleiche Empfindlichkeit besitzen sollten, suchte ich durch die Auswahl folgender Gegenden zu genügen:

Am Gesicht: Gegend des äusseren Augenwinkels und der anliegende Wangen- und Schläfentheil. Um bei dem geringen Umfang dieser Partie einer Ermüdung vorzubeugen, wurde zwischen rechts und links gewechselt, während sonst nur an der linken Seite untersucht wurde. Die grössere Dünnheit der Oberhaut an den Augenlidern stört freilich die Gleichmässigkeit der Bedingungen, allein dies ist ein unvermeidlicher Uebelstand. Uebrigens findet derselbe bei den Wärmereizen zum Theil dadurch einen Ausgleich, dass wegen der tieferen Schmerzgrenze am Auge eine Kugeltemperatur von nur 45° verwendet wurde.

An der oberen Extremitäten: Unteres Drittel der ulnaren Fläche des Oberarmes.

Oberes Drittel der volaren Fläche des Unterarmes, besonders in ihrem radialwärts gelegenen Theil.

Am Rumpf: Meso- und Epigastrium.

Regio iliaca und lumbalis.

An der unteren Extremität: Unteres Drittel der inneren Fläche des Oberschenkels. Innere Fläche des Kniegelenkes. Oberer innerer Theil der Wade.

Bei der Auswahl dieser Stellen verwerthete ich die gelegentlich meiner Untersuchungen über die Topographie des Temperatursinnes gemachten Erfahrungen. Welchen Rang die angeführten Bezirke bezüglich ihrer Kälte- und Wärmeempfindlichkeit einnehmen, geht aus den von mir im Archiv für Psychiatrie Bd. XVIII Heft 3 („Eine neue Methode der Temperatursinnsprüfung“) gegebenen topographischen Tafeln hervor. Ich habe dort zwölf Abstufungen der Kälteempfindlichkeit und acht Stufen der Wärmeempfindlichkeit unterschieden, bezüglich deren ich noch einmal wiederholen muss, dass sie keine Einheiten irgend welcher Art vorstellen sollen, sondern sich bei einem rein inductiven Prüfungsverfahren als bequemes und praktisches Verständigungsmittel herausgestellt haben. Die vorher genannten Prüfungsbezirke nehmen nun nicht an allen Körpertheilen die-

selbe Stufe ein, weil — wie aus den Tafeln ersichtlich ist — manche Abschnitte des Körpers überhaupt keine so empfindlichen Stellen enthalten wie andere. Jedoch glaubte ich genug gethan zu haben, wenn ich von jedem Körpertheil die je empfindlichste Region aussuchte. Allein es stellte sich später heraus, dass selbst die unter diesen je empfindlichsten Regionen noch bestehenden Unterschiede bedeutend genug sind, um die Resultate nicht ohne weiteres vergleichbar zu machen. Es war dies auch der Grund, weshalb die von der zu wenig wärmeempfindlichen unteren Extremität gewonnene Prüfung später noch durch die Regio iliaca und lumbalis ergänzt wurde, welche in meiner vorläufigen Mittheilung noch nicht enthalten waren. Die Empfindlichkeit der Prüfungsstelle ist nämlich von so bestimmendem Einfluss auf die Reactionszeit, dass Schlussfolgerungen auf die für die Fortleitung der Erregung benöthigte Zeit nicht gemacht werden können, wenn nicht ganz gleiche Empfindlichkeitsverhältnisse vorliegen. Da die Art der im folgenden bewirkten Gruppirung der Prüfungsstellen und Mittelwerthe auf dieser Erkenntniss beruht und das Verständniss der Einzelwerthe durch dieselbe nicht bloss wesentlich gefördert, sondern überhaupt erst möglich wird, so möge das erst auf grossen Umwegen gewonnene Resultat hier vorangestellt und erstlich bewiesen werden.

Ueber den Einfluss der Empfindlichkeit auf die Reactionszeiten.

Es wurden am linken Vorderarm drei rundliche Stellen, welche in ihrer Grösse je der Berührungsfläche der Kugel entsprachen, so bestimmt und umzeichnet, dass Stelle I intensive Kälteempfindlichkeit (Stufe VII). Stelle II mässige (Stufe IV) und Stelle III schwache (Stufe II) besass Innerhalb einer Region von bestimmtem Stufenwerth nämlich wechselt die Empfindlichkeit noch durchaus, sodass bei Untersuchung mit kleinsten Flächenreizen sich eine ziemlich erhebliche Mannigfaltigkeit herausstellt, und die „regionäre Empfindlichkeit“ bedeutet nur die an einer Region vorherrschende. Die Versuchsanordnung war nun insofern eine von der oben geschilderten abweichende, als ein darauf eingeübter Gehülfe das Brett mit der hängenden Kugel in die Hand nahm und mit letzterer je eine der drei Stellen möglichst genau berührte, sowie dass nach jedem Einzelversuch die Trommel sistirt und eine Pause von $^1/_2$—1 Minute gemacht wurde, welche zur Erholung der gereizten Hautstelle, sowie zur Regulation der Kugeltemperatur verwendet wurde. Letztere wurde — die Kugel war in der oben beschriebenen Weise mit Thermometer versehen — auf 20° C. erhalten. Die Zimmertemperatur betrug ebenfalls 20° C. Der Arm war von normaler Hautwärme und befand sich in einer ungezwungenen, keine

venöse Stauung bewirkenden Haltung. In der ersten Versuchsreihe wurde jede Stelle 2—4 Mal, meist jedoch nur 2 Mal hinter einander gereizt — unter Beobachtung der Pause —, in der zweiten und dritten Reihe jedoch wurde nach jedem Einzelversuch die Stelle gewechselt. Uebrigens muss bemerkt werden, dass trotz dieser Cautelen eine theilweise Ermüdung der Stellen sich doch nicht ganz vermeiden liess. Die Resultate zeigt folgende Zusammenstellung, in welcher ebenso wie im weiteren Verlauf der vorliegenden Abhandlung, behufs leichterer Uebersicht, als Zahleneinheit nicht die Secunde, sondern der hundertste Theil derselben gewählt ist.

Versuchsreihe	I. Stelle.		II. Stelle.		III. Stelle.	
	Mittelwerthe	Ausdehnung der Einzelwerthe	Mittelwerthe	Ausdehnung der Einzelwerthe	Mittelwerthe	Ausdehnung der Einzelwerthe
I.	26·8	20—35	32·8	27—40	60·2	39—86
II.	26·7	23—30	38·4	27—46	63·0	55—69
III.	25·6	22—31	36·0	31—44	59·5	41—73

Wie man sieht, stimmen die von je einer Stelle gewonnenen Mittelwerthe ziemlich gut überein, am besten die der empfindlichsten Stellen. Dadurch treten die zwischen den Mittelwerthen der verschiedenen Stellen bestehenden Differenzen um so deutlicher hervor. Dieselben sind gegenüber den engen Grenzen, in welchen sich die Mittelwerthe je einer und derselben Stelle bewegen, so gross und zugleich setzen sich die Complexe von Einzelwerthen, aus welchen die Mittelwerthe gewonnen sind, so deutlich von einander ab, dass es nicht möglich ist, dieselben als zufällig sehr weit auseinandergehende Schwankungen aufzufassen. Vielmehr, da an den drei Stellen alle sonstigen Bedingungen der Versuchsanordnung, ferner die Entfernung vom Sitz des Bewusstseins und die Beschaffenheit der Haut so gut wie identisch sind, kann lediglich in der so ausgesprochen verschiedenen Empfindlichkeit der Stellen der Grund für den verschiedenen Ausfall der Reactionszeiten gesucht werden. Es verdient hierbei noch hervorgehoben zu werden, dass die Reactionsbewegung ausgelöst wurde, sobald die Empfindung soeben merklich wurde. Die solcher Gestalt durch die verschiedene Empfindlichkeit bedingten Differenzen zeigen eine Höhe, gegenüber welcher die auf Längenunterschiede der Leitungsbahnen zu beziehenden Differenzen bei den Reactionszeiten der Tastempfindungen sehr klein erscheinen. Hieraus können wir schon entnehmen, welche Schwierigkeiten die Ermittelung der Leitungszeit bei den Temperaturempfindungen machen wird. Auffallend ist es, wie bei anscheinend ganz gleichen Bedingungen jedes Einzelversuches die Werthe doch in erheblich weiten Grenzen schwanken. Und zwar ist die Breite der Schwankungen um so grösser, je weniger

empfindlich die Stelle ist, derart, dass sie bei Stelle I die Werthe 20—35, bei II die Werthe 27—46, bei III die Werthe 39—86 umfasst. Dabei deutet das ziemlich bunte Durcheinander verschieden hoher Werthe innerhalb je einer Versuchsreihe darauf, dass der Ermüdung nur eine geringe Schuld in dieser Hinsicht beizumessen ist. Vielmehr dürfte die Ursache hauptsächlich in einem oben erwähnten und jetzt seine volle Bedeutung erhaltenden Umstande gelegen sein, nämlich dass, durch die Eigenthümlichkeit der Kugelform bedingt, innerhalb der Berührungsfläche gewisse Theile schneller und stärker erregt werden als die anderen; es wird nun aber bei der geschilderten Art der Application die Kugel nie das eine Mal genau in derselben Weise auf die Haut auftreffen, wie das andere Mal, vielmehr sind leichte Verschiebungen gar nicht zu umgehen. Es wird deshalb die zuerst und am stärksten gereizte Partie innerhalb der umschriebenen Stelle bei jedem Einzelversuch wechseln; da aber bis zu den kleinsten Flächenstücken die Empfindlichkeit mosaikartig — im Zusammenhang mit der eigenthümlichen Anordnung der Temperaturpunkte — wechselt, so werden wir in den beregten Zufälligkeiten der Kugelapplicationen einen hinreichenden Grund für die Schwankungen der Einzelwerthe finden. Für diese Erklärung spricht der Umstand, dass die Werthe bei der am wenigsten empfindlichen Stelle um so viel weiter auseinandergehen, da an solchen Stellen die empfindenden Punkte weiter von einander entfernt sind, demnach die Chancen, dieselben gerade in der wirksamsten Art zu treffen, geringer sind als an empfindlichen Stellen, wo die Punkte dichter stehen. Dass die Mittelwerthe selbst an der empfindlichsten Stelle grösser sind als die später zu berichtenden, vom Arm gewonnenen Werthe, hängt damit zusammen, dass ein nur mässiger Kältereiz (20° C.) in Anwendung gebracht wurde.

In ähnlicher Weise wurde bezüglich der Wärmeempfindungen vorgegangen. Am Unterarm bestimmte ich eine intensiv empfindende (Stufe VI) Stelle I, eine mässig stark (Stufe IV) empfindende Stelle II und eine schwach (Stufe II) empfindende Stelle III, von denen Stelle I und III hart an einander grenzten. Die Kugeltemperatur wurde auf 49·5—49° C. erhalten.

Reihe	Stelle I.		Stelle II.		Stelle III.	
	Mittelwerth	Ausdehnung der Einzelwerthe	Mittelwerth	Ausdehnung der Einzelwerthe	Mittelwerth	Ausdehnung der Einzelwerthe
I.	35·6	21—57	47·2	41—54	79·0	41—101
II.	37·1	25—53	46·1	36—56	74·3	63—96
III.	37.0	31—43	—	—	—	—
IV.	27·6	24—35	—	—	—	—

Die zu beweisende Erscheinung geht aus diesen Resultaten nicht weniger deutlich hervor als aus den vorigen, ja insofern noch praegnanter, als die Differenzen der Mittelwerthe noch grösser sind. Jedoch sind die für eine und dieselbe Stelle in den einzelnen Versuchsreihen gefundenen Mittelwerthe weniger übereinstimmend als dort; speciell ist bei Stelle I der Unterschied des Mittelwerthes 27·6 einerseits gegen die drei übrigen andererseits sehr auffallend. Im Zusammenhang damit gehen auch die Einzelwerthe viel weiter aus einander als bei der Kälteempfindung, im Uebrigen ebenfalls an der schwachempfindlichen Stelle am meisten. Diese grössere Unsicherheit im Ausfall der Reactionszeiten der Wärmeempfindungen, welcher wir auch später begegnen werden, könnte man damit in Zusammenhang bringen, dass die wärmeempfindlichen Punkte weniger dicht gesät sind als die kälteempfindlichen, dass demnach das Verhältniss der unempfindlichen zu den empfindlichen Theilchen des umgrenzten Feldes ein ungünstigeres ist und, unter Zugrundelegung unserer Erörterung über die Applicationsweise der Kugel, eine grössere Wahrscheinlichkeit besteht, dass letztere zuerst und am stärksten einen unempfindlichen oder wenig empfindlichen Abschnitt des Feldes trifft. Hierzu kommt nun noch ein anderes Moment, welches die Unsicherheit in der Bestimmung der Reactionszeiten vermehrt. Die Wärmeempfindungen zeigen nämlich eine besondere — schon früher von mir hervorgehobene — Eigenthümlichkeit, welche darin besteht, dass sie sehr schwach beginnen, mehr oder weniger rasch zu einer gewissen Höhe anschwellen, um sodann wieder „abzuklingen". Die Kälteempfindungen besitzen diesen Verlauf in viel weniger ausgesprochener Weise und eigentlich nur diejenigen, welche von einer mässigen oder geringen Stärke, die intensiven anscheinend gar nicht. Diese Höhe wird um so schneller erreicht, je stärker der Wärmereiz ist, ausserdem aber an manchen Hautpartien überhaupt schneller als an anderen. Oft geht dem Auftreten des eigentlichen Wärmegefühls eine Empfindung undeutlicher Art voraus, bezüglich deren man sich nicht ohne weiteres entscheiden kann, ob sie mehr der Wärme- oder der Druckqualität angehört. Von dieser Besonderheit der Wärmeempfindungen kann man sich leicht überzeugen. Die Schwierigkeit, den schwachen Beginn der Empfindung aufzufassen, wird nun gerade dadurch noch verstärkt, dass dieser schwache Eindruck wachsend in einen stärkeren übergeht. Es wird dadurch bei den Reactionsversuchen die Gefahr nahe gelegt, einen grösseren, bequemer aufzufassenden Grad der Deutlichkeit abzuwarten. Der Auffassung ist hier ein gewisser Spielraum gelassen und dadurch möchte es sich erklären, dass die Werthe, selbst die Mittelwerthe, bei der Wärme grössere Schwankungen zeigen als bei der Kälte. Es erscheint recht wohl denkbar, dass sich gelegentlich eine ganze Versuchsreihe in dieser Beziehung opportuner gestaltet als eine andere. Wie erheblich die Spanne zwischen dem Einsetzen der

Empfindung und ihrem Maximum ist, lehrt folgende Zusammenstellung einiger nach dieser Richtung hin angestellten Versuchsreihen. An einer gut wärmeempfindlichen kugelgrossen Stelle des linken Unterarmes wurden mit den Kugeltemperaturen 39°, 40° und 44° unter Beobachtung desselben Modus wie in den letztmitgetheilten Prüfungen Versuche derart angestellt, dass in der einen Reihe auf die eben merkliche, in der anderen auf die maximal angewachsene Empfindung reagirt wurde.

Reiztemperatur	Minimum der Empfindung		Maximum der Empfindung	
	Mittelwerth	Schwankungen der Einzelwerthe	Mittelwerth	Schwankungen der Einzelwerthe.
39°	37·1	24–48	110·5	76–134
40°	34·5	20–51	77·7	48–101
44°	28·2	17–40	58·5	48–70
49° [1]	26·6	16–50	45·6	16–65

Es geht aus dieser Zusammenstellung gleichzeitig hervor, dass der Gipfel der Empfindung bezüglich der Zeit seines Eintretens eine grössere Abhängigkeit von der Reizstärke zeigt als der Beginn derselben; wir dürfen daraus schliessen, dass die letztere ganz besonders die Steilheit des Ansteigens der Empfindung beeinflusst. Ferner gehen die Einzelwerthe bei der Reaction auf das Maximum der Empfindung meist mehr auseinander als beim Minimum.

Es ist nun von Interesse, mit dem Einfluss, welchen die Temperaturempfindlichkeit auf die Reactionszeit hat, denjenigen zu vergleichen, welchen die Reizstärke, d. h. die Entfernung der Reiztemperatur von der Hauttemperatur ausübt. Für die nach dieser Richtung angestellten Versuchsreihen wählte ich eine nur mässig kälteempfindliche (Stufe IV) und eine, in der Nähe gelegene, gut wärmeempfindliche Stelle aus, beide am linken Unterarm. Die Eigentemperatur der ersteren betrug 32·5°, die der letzteren 32·7° C. Die wärmeempfindliche Stelle war dieselbe, welche zu den eben berührten Versuchen verwendet worden war, weshalb auch einige der Zahlen benutzt wurden, welche jetzt wiederkehren. Der Modus der Prüfung war wie oben beschrieben. Die Ergebnisse der natürlich — ebenso wie die vorher geschilderten Versuche — auf mehrere Tage vertheilten Prüfungen waren folgende:

[1] Diese Reihe wurde nicht mit stabiler, sondern mit wechselnder Stelle — der in den eigentlichen Reactionsversuchen angewandten — Methodik gewonnen.

Kälte		Wärme	
Reiztemperatur	Mittelwerth	Reiztemperatur	Mittelwerth
30—29·5°	39·9	35	75
28·5—28°	38·1	39	37·1
20—19°	37·7	39·5	33·8
15·5—15°	27·8	40	34·5
—	—	44	28·2
—	—	49·5	28·3

Die Prüfung an der mässigempfindlichen Stelle giebt jedoch, wie sich weiter herausstellte, noch kein genügendes Bild von dem Einfluss der Reizstärke. Die Versuche, welche in dieser Hinsicht an Bezirken von einer bestimmten regionären Empfindlichkeit mit wechselnder Berührungsstelle gemacht wurden, führten zu folgenden Zahlen, welche je Durchschnittswerthe einer Versuchsreihe darstellen:

Reiztemperatur	Augenwinkel	Oberarm	Handrücken	Hohlhand	Bauch
15°	13·5	14·6—17·8	17·2	19·5	22·6
20°	19·7	—	—	—	—
24°	—	29·0	32·0	—	—
30°	—	38·0—40·0	47·6	44·2	42·6

Auffallend ist, dass bei den Wärmereizen die Abstufung der höheren Reizstärken für die Zeit relativ weniger ausmacht als bei den Kältereizen, dass dagegen eine sehr erhebliche Vergrösserung der Zeit auftritt, sobald der Wärmereiz schwach wird. Die den Reiztemperaturen 39°, 39·5°, 40° entsprechenden Mittelwerthe 37·1—33·8—34·5 zeigen Differenzen, welche ein bedenkliches Licht auf die vorhin vertretene Anschauung, dass so kleine Temperaturunterschiede belanglos sind, werfen könnte; allein es handelt sich hier um Schwankungen, wie wir sie vorhin als speciell den Wärmereactionszeiten eigenthümlich gezeigt hatten, wie schon das Verhältniss 33·8 zu 34·5 bei 39·5° zu 40° documentirt.

Wir sehen demnach, dass durch den Wechsel der Reizstärke Zeitunterschiede von ähnlichem Umfange bedingt werden, wie durch den Wechsel der Empfindlichkeit, nur bei dem Kältesinn ist auch durch den Reiz von 30° keine so grosse Reactionszeit erzeugt worden als durch die Empfindlichkeitsstufe II. Da wir als Maassstab der Empfindlichkeit die Empfindungs-

intensität genommen hatten und eben diese auch der Reizstärke conform ist, so liegt der Schluss nahe, dass es die Stärke und Deutlichkeit der Empfindung ist, welche für die Gestaltung der Reactionszeit maassgebend ist. Wir werden auf diesen Punkt schliesslich zurückkommen und dabei die eben besprochenen Ermittelungen weiter verwerthen.

Von dem Einfluss der Empfindlichkeit auf die Zeit übrigens kann man sich — besonders bei den Wärmeempfindungen — auch durch den unmittelbaren Eindruck leicht überzeugen. Ebenso wie man leicht finden wird, dass, namentlich an nur mässig empfindlichen Stellen, das Wärmegefühl, nachdem es merklich geworden, weiter wächst, eine gewisse Höhe erreicht und dann wieder abschwillt, ja, dass bei momentaner Berührung das Maximum der Empfindung erst eintritt, nachdem der Gegenstand schon wieder von der Haut entfernt sein kann, ebenso lehrt auch die blosse Beobachtung, dass die stärkere Empfindung auch früher eintritt als die schwächere.

Ein weiterer Beweis für das in Rede stehende Verhältniss der Reactionszeiten zur absoluten Empfindlichkeit erwächst aus den Resultaten der Reactionszeitprüfungen selbst. Ausser den Regionen mit möglichst grosser und gleicher Empfindlichkeit wurden nämlich absichtlich auch solche von mässiger und geringer Empfindlichkeit geprüft. Die Versuche sind also analog den vorhin mitgetheilten, nur dass sie mit wechselnder Berührungsstelle ausgeführt wurden. So ergab z. B. eine Versuchsreihe von der Vola des Handgelenkes, welche bezüglich des Kältesinnes der Stufe IV entspricht, den Mittelwerth 26·3, während die mit derselben Reizstärke vorgenommenen Prüfungen im Spatium interosseum primum des Handrückens (Stufe VI) den Mittelwerth 17·2 förderten und die am Unterarm von Regionen der Stufe VI und VII gewonnen Werthe 12·3—14·2—14·5 betrugen. Von der Nase (Stufe II und III) wurde der Mittelwerth 30·4 ermittelt, dagegen vom äusseren Augenwinkel (Stufe VII) 13·5. Noch deutlicher sind die Unterschiede bei den Wärmereizen. Der Mittelwerth von der Stirn (Stufe III und IV) 34·4 steht hier denen vom äusseren Augenwinkel (Stufe VIII) 14·0 — 15·3 — 16·0 gegenüber, während die Nase (Stufe I und II) sogar einen solchen von 51·3 zeigt. An der ulnaren Fläche des Oberarms (Stufe VI und VII) wurde 27·5, an der Beugeseite (Stufe IV) 54·2 eruirt; an den empfindlichsten, in den Tabellen näher bezeichneten Bezirken des Unterarms (Stufe VI) die Werthe 26·6 und 27·8, an den weniger empfindlichen (Stufe IV und III) jedoch 56·9 — 59·1 — 61·9.

Nach Feststellung dieses Satzes — dass die absolute Empfindlichkeit bei annähernd gleicher Reizstärke die Grösse der Reactionszeiten in hohem Grade bestimmt — wird nun auch klar, was ohne denselben nicht bloss unverständlich, sondern sogar im Stande wäre, die Zahlen als unbrauchbar erscheinen zu lassen, nämlich die ganz auffallend grossen

Schwankungen der innerhalb einer Versuchsreihe gelegenen Einzelwerthe. Wie wir eben gesehen haben, dass zwei aneinander grenzende kugelgrosse Stellen von verschiedener Empfindlichkeit Mittelwerthe ergaben, welche um etwa 0·40—0·50 Secunden differirten, so werden wir in Anbetracht der Thatsache, dass innerhalb einer Region von einer bestimmten vorherrschenden regionären Empfindlichkeit die locale doch durchaus wechselt, die Schwankungen der Einzelwerthe mit vollem Recht auf die Differenzen in der nervösen Veranlagung der einzelnen Berührungsstellen zurückführen. Man könnte hier einwenden, dass gerade in den zuerst mitgetheilten Versuchen auch für eine und dieselbe kugelgrosse Berührungsstelle sich erheblich variirende Einzelwerthe ergeben haben und dass daher neben der localen Empfindlichkeit wohl noch ein anderes Moment bestimmend wirken möge, derart, dass auch bei absoluter Gleichförmigkeit der Region differente Zeitwerthe herauskommen würden. Jedoch eine kugelgrosse Applicationsstelle ist selbst wieder als eine Region zu betrachten, welche aus einem Mosaik verschieden empfindlicher kleinster Flächentheile besteht, von denen aus den Eingangs erörterten Gründen bei jeder Berührung der Kugel wahrscheinlich je andere zuerst getroffen werden. Nachdem der Satz von dem Einfluss der Empfindlichkeit auf die Zeit bewiesen, ist kein Grund, ihn nicht auch auf die kleinsten Flächentheile auszudehnen; ja, es erscheint als durchaus annehmbar, dass auch an jedem einzelnen Kälte- oder Wärmepunkt — deren Empfindlichkeit ja ebenfalls nicht gleich ist — dieselbe Beziehung sich würde nachweisen lassen. Demnach wird in letzter Linie die Zeit von der Empfindlichkeit desjenigen Flächentheiles bestimmt werden, welcher im ersten Moment der Berührung mit der Kugeloberfläche die dichteste Anlagerung eingeht, derart, dass die Zeit am kürzesten ausfallen wird, wenn dieses Flächentheilchen die an der gesammten Stelle vorherrschende Empfindlichkeit besitzt, dagegen relativ lang, wenn es die überhaupt im Bereiche der Stelle vorhandene geringste Empfindlichkeit hat.

Es muss sonach als feststehend betrachtet werden, dass innerhalb einer Region von einem gewissen Stufenwerth die Reactionszeit in der Hauptsache je nach der Empfindlichkeit der Berührungsfläche wechselt. Wenn dem so ist, so müssen die erhaltenen Zeitwerthe nicht bloss von der vorherrschenden r e g i o n ä r e n Empfindlichkeit abhängen, sondern auch von der Art ihrer Vertheilung innerhalb des Prüfungsgebietes. Es könnte vorkommen, dass von zwei Regionen von gleichem Stufenwerth in der einen eine grössere Zahl minder empfindlicher Felder enthalten wäre als in der anderen. In der That bestehen auch solche Verhältnisse und ich werde Gelegenheit haben, bei der Besprechung der Versuchsresultate im Einzelnen hierauf zurückzukommen. Im Allgemeinen gilt der Satz, dass die bestempfindlichen Partien auch die gleichmässigsten sind, während mässig

und wenig empfindliche Regionen einen grösseren Wechsel zeigen. Es muss hiernach bedenklich erscheinen, die Grösse der Mittelwerthe direct als Ausfluss der regionären Empfindlichkeit anzusehen, und man könnte geradezu meinen, dass der vorhin aus den Mittelwerthen gezogene Schluss insofern hinfällig sei, als vielleicht die der Empfindlichkeit zugeschriebenen Differenzen hauptsächlich nur der andersartigen Vertheilung der gut- und schlechtempfindlichen Felder zukommen. Man könnte in weiterer Verfolgung dieses Einwurfes dahin kommen, die Methode der wechselnden Berührungsstellen überhaupt als unbrauchbar zu bezeichnen. Allein, um mit letzterem zu beginnen, auch die stabile Berührungsstelle schützt, wie wir gesehen haben, nicht völlig vor Variationen in der Art der Anlagerung der Kugel. Ferner aber, da in jedem Einzelversuch die Reactionszeit durch die an der Berührungsstelle je vorhandene Empfindlichkeit bestimmt wird, besitzen wir gerade in den einzelnen Zeitwerthen einer Versuchsreihe einen Maassstab für die Art der Vertheilung und Reizung der mehr- und minderempfindlichen Felder innerhalb der Prüfungsregion. Um dies Moment in geeigneter Weise als Hebel für die Beurtheilung zu gestalten, habe ich die Einzelwerthe in der zuerst von Tigerstedt und Bergquist geübten Weise so angeordnet, dass nach Abtheilung der Zeit in Gruppen von je 0·05 Secunden die Anzahl der auf jede Gruppe entfallenden Zeitwerthe bestimmt und nach Procenten der Versuchsanzahl umgerechnet und eingetragen wurde. Hier lehrt denn nun ein Blick beim Vergleichen zweier Regionen von verschiedener Empfindlichkeit, dass zwei gleichzeitig bestehende Momente vorhanden sind: einmal nämlich setzen bei der minder empfindlichen Region die Werthe überhaupt höher ein und das Gros derselben — welches offenbar der vorherrschenden Empfindlichkeit, d. h. derjenigen, nach welcher das Prüfungsgebiet rangirt und bezeichnet ist, entspricht — nimmt einen höheren Platz ein; dies aber ist dann der Beweis dafür, dass der grössere Mittelwerth nicht lediglich durch eine andere Vertheilung verschieden empfindlicher Felder herbeigeführt ist. Ferner aber sind in der That bei der minder empfindlichen Prüfungsregion die Schwankungen der Werthe grösser, in Uebereinstimmung mit dem schon angeführten Umstand, dass mit der höheren Ausbildung der absoluten Empfindlichkeit auch die Gleichmässigkeit der Ausbreitung derselben zunimmt. Dem entspricht es auch vollkommen, dass die Mittelwerthe der von gut empfindlichen Gebieten gewonnenen Reihen meist weniger differiren als die von schlechterempfindlichen Partien. In dieser Uebereinstimmung der zahlenmässigen Resultate der Reactionsversuche mit den angezogenen, auf andere Weise festgestellten anatomischen Verbreitungsverhältnissen der absoluten Temperaturempfindlichkeit ist wiederum ein Beweispunkt für die Beziehung der letzteren zur Reactionszeit gegeben.

Es möchte nicht überflüssig erscheinen, jetzt noch einmal ein gegen meine Methode zu erhebendes Bedenken zu berühren, welches die Kugeltemperatur betrifft. Während letztere, wie wir sahen, bei den Versuchen nur geringen Schwankungen unterliegt, bietet sich bezüglich der localen Application der Kugel ein erheblicher Wechsel der absoluten Empfindlichkeit dar; es dürften somit dem bestimmenden Einfluss der letzteren gegenüber jene ziemlich belanglos und die Berechtigung meines Verfahrens, die Empfindlichkeit und Empfindungsintensität zur Basis der Versuche zu machen, anzuerkennen sein. Dies gilt ganz besonders für denjenigen Theil der gestellten Aufgabe, welcher die Ermittelung der Leitungsgeschwindigkeiten betrifft. Will man die für die verschiedenen Bahnlängen in Rechnung kommenden Zeitwerthe aus dem Gesammtbetrage der Reactionszeit herausschälen, so ist augenscheinlich eine Auswahl ganz gleich- und dabei hervorragend gutempfindlicher Partien nothwendig — letzteres, weil die Mittelwerthe mässigempfindlicher Gebiete zu different ausfallen. Es fragt sich nun zunächst, ob unsere resp. meine quantitative Unterschiedsempfindlichkeit fein genug ist, um Regionen von genügender Gleichheit der absoluten Empfindlichkeit auszuführen. Ich habe den Eindruck, dass dies der Fall ist und möchte als besonderen Beweis dafür anführen, dass, wie die Tabellen an mehreren Stellen zeigen, Partien von gleicher Empfindlichkeit und gleicher Bahnlänge — d. h. also benachbarte — höchst übereinstimmende Mittelwerthe ergeben haben.

Man könnte weiter in Zweifel ziehen, ob es Angesichts der grossen Schwankungen der Einzelwerthe innerhalb einer Reihe, ja, an einer und derselben kugelgrossen Stelle — welche die nach unseren sonstigen Erfahrungen für Differenzen der Bahnlängen in Anschlag zu bringenden Zeitwerthe übertreffen — überhaupt möglich sei, Schlüsse auf Leitungszeiten zu ziehen. Allein wenn zwei Gebiete von gleich guter und ähnlich angeordneter Empfindlichkeit vorliegen, so kann die Kugel zwar in jedem von beiden bald ein best-, bald ein weniger-empfindliches Flächenstückchen treffen, jedoch wird bei einer grösseren Anzahl von Versuchen unter den vorausgesetzten Bedingungen sich doch beiderseits ein ähnliches Mischungsverhältniss herausstellen. Dass dem so ist, zeigen die trotz der Schwankungen der Einzelwerthe doch gut übereinstimmenden Mittelwerthe. Besitzt nun die eine der beiden Regionen eine längere Leitungsbahn, so müssten sich die Zeitwerthe derselben um eine Constante — unter der vorläufigen Voraussetzung, dass die Leitungsgeschwindigkeit von der Empfindlichkeit nicht abhängt — vergrössert zeigen; daraus würde sich bei der Aufzählung nach Gruppenprocenten (s. oben) eine andere Anordnung ergeben, eine Art von Verschiebung, deren Grösse von dem Mehrbetrag der Leitungszeit ab-

hängig wäre. Diese Verschiebung wäre ohne weiteres unterscheidbar gegen eine solche, wie sie hervorgerufen würde, wenn die betreffende Region zwar gleiche Empfindlichkeit wie die erste, aber dieselbe topisch anders angeordnet besässe, etwa ein ungünstigeres Mischungsverhältniss minder- und gut-empfindlicher Stellen aufweise. Hierbei würde nämlich — ich werde unten Beläge dafür anführen — keine eigentliche Verschiebung, sondern nur eine grössere Verzettelung der Werthe resultiren. Nach dieser Betrachtung muss es trotz der grossen Schwankungen der Einzelwerthe doch als möglich erscheinen, unter Voraussetzung der angegebenen Bedingungen auf die Leitungszeit schliessen zu können, und zwar — wobei ich das eben gesagte nur näher ausführe — unter Anwendung folgender Kriterien:

Aus den Mittelwerthen allein ist ein sicherer Schluss auf Leitungszeiten nicht möglich, da auch bei gleicher regionärer Empfindlichkeit Differenzen der Mittelwerthe durch verschiedenartige topische Vertheilung der Empfindlichkeit bewirkt werden können.

Es ist daher neben den Beträgen der Durchschnittswerthe noch die Gruppirung der Einzelwerthe als wesentlich zu berücksichtigen. Hierbei wird einerseits das Verhalten der niedrigsten und höchsten Werthe in Betracht kommen und zwar speciell, ob in der einen Versuchsreihe überhaupt ebenso niedrige resp. hohe Werthe vorkommen als in der anderen, und wenn dies der Fall ist, ob mit derselben Häufigkeit — letzteres mit Rücksicht darauf, dass eventuell die Leitungsdifferenz weniger als 0·05 Secunden — eine Gruppenbreite — betragen kann. Andererseits wird zu beachten sein, ob diejenigen Zeitgruppen, welche die dichteste Anhäufung von Zeitwerthen — das Gros derselben — enthalten, in beiden Reihen identisch sind oder ob das Gros der Zeitwerthe in der einen Reihe gegen die andere verschoben erscheint.

Es ist hierbei jedoch festzuhalten, dass diese Kriterien zutreffenden Falles nicht ohne weiteres für Leitungszeit sprechen, sondern nur dafür, dass die Einzelwerthe der einen Reihe sich von denen der anderen durch einen annähernd constanten Mehrbetrag unterscheiden, von welchem erst des weiteren zu untersuchen wäre, in wie weit er auf Leitungszeit zu schieben sein dürfte. Alles dies aber nur unter der Voraussetzung gleicher Empfindlichkeit der Prüfungsregionen, da, wie ich an mehreren Beispielen zeigen werde, verschiedene Empfindlichkeit zweier Gebiete genau dieselben Verschiebungen in der Gruppirung der Einzelwerthe beider Versuchsreihen herbeizuführen im Stande ist, wie ich sie eben als charakteristisch angeführt habe.

Somit wären die Gesichtspunkte, nach denen das gewonnene Zahlen-

material zu beurtheilen ist, fixirt und demnach möge die Besprechung desselben im Einzelnen nun folgen. Ich werde dabei die Kälte- und Wärmeempfindungen völlig getrennt behandeln.

Ergebnisse.

Kälteempfindung.

Gesicht. Die Prüfung geschah am äusseren Augenwinkel, wobei zwischen rechts und links abgewechselt wurde, und dem unterhalb desselben gelegenen, der vorderen Jochbogenfläche entsprechenden Wangentheil (Stufe VII), ferner an der benachbarten Schläfen- und Wangenpartie (Stufe VI). Die Mittelwerthe der Versuchsreihen — 13·5 — 12·5 — 14·5 differiren wenig von einander und die Einzelwerthe zeigen relativ geringe Schwankungen; auch ist die Grösse und das Häufigkeitsverhältniss der letzteren in den verschiedenen Reihen ähnlich. Die gefundenen Durchschnittswerthe entsprechen in ihrer Grösse ungefähr den von Anderen für Tastreize im Gesicht ermittelten Reactionszeiten:

Exner		0·1374
v. Wittig	(Stirn)	0.130
v. Kries	„	0·122
Hall	„	0·163

Es scheint daher fast, dass die Durchleitung durch die Oberhaut hier nicht mehr Zeit in Anspruch nimmt, als bei mechanischen Reizen, wobei zu beachten ist, dass die Oberhaut an den Augenlidern dünner ist als an der Mehrzahl der übrigen Körperstellen. Ich selbst habe über Tastreize in dieser Hinsicht keine Versuche angestellt, und es möchte misslich sein, die Reactionszeiten verschiedener Beobachter in der eben versuchten Richtung zu verwerthen. Durch die inzwischen erschienene vorläufige Mittheilung von v. Vintschgau und Steinach sind wir jedoch in der Lage, Tast- und Kälteempfindung bei einem und demselben Beobachter vergleichen zu können. v. Vintschgau giebt für Berührungsempfindung folgende Mittelwerthe an: Mitte der Stirn 0·119 Sec., rechte Wange 0·119; für Kälteempfindung: Mitte der Stirn 0·143, rechte Wange 0,143. Steinach für Berührungsempfindung: Mitte der Stirn 0·107, rechte Wange 0·101; für Kälteempfindung: Mitte der Stirn 0·116, rechte Wange 0·114. Bei beiden Beobachtern hat demnach der Kältereiz längere Zeit zur Wahrnehmung erfordert als der Berührungsreiz und es dürfte damit bewahrheitet sein, was schon *a priori* wahrscheinlich, aber aus den oben zusammen-

gestellten Zahlen nicht ersichtlich war, dass die Wärmeleitung durch die Oberhaut hindurch länger dauert als die Fortpflanzung eines Stosses. — Ich verfehle nicht die von den Verff. in ihrer vorläufigen Mittheilung angegebenen Werthe hier zu citiren, mit dem Bemerken, dass der Kältereiz bei v. Vintschgau $2^1/_5 — 4^4/_5{}^0$ C., bei Steinach $2 — 2^4/_5{}^0$ C. betrug.

	v. Vintschgau.	Steinach.
Rechte Schläfe	0·160	0·116
Linke Schläfe	0·170	0.124
Mitte der Stirn	0·143	0·116
Rechte Wange	0·143	0·114
Linke Wange	0·151	0·116

Meine Zahlen würden also etwa zwischen denen der beiden Beobachter gelegen sein. — Ausser den eben besprochenen Versuchsreihen, in welchen eine Kugeltemperatur von 15° angewendet war, wurden noch Prüfungen mit der in Wasser von 20° gekühlten Kugel vorgenommen. Dieselben ergaben den Durchschnittswerth **19·7**. Vergleicht man die Gruppirung der Werthe in dieser Reihe mit derjenigen in den andern (s. Tabelle), so kann man sich dieselbe aus jenen bez. aus einer von jenen abgeleiteten mittleren Reihe dadurch entstanden denken, dass jeder Einzelwerth im Allgemeinen um 2—3 Hundertstel Secunden vergrössert ist; dadurch nämlich würde eine Anzahl, vielleicht die Mehrzahl, der in der 1. Gruppe enthaltenen Werthe in die 2., wieder eine Anzahl von dieser in die 3. und so fort gelangen und schliesslich die Reihe um eine Gruppe vergrössert werden — was ungefähr dem Thatbestand entspricht. Hier ist also ein Fall gegeben, wo bei gleicher Empfindlichkeit die Werthe der einen Reihe sich von denen der anderen durch einen annähernd constanten Betrag unterscheiden. Wäre auch die Reizstärke dieselbe, dagegen die Leitungsbahn von verschiedener Länge, so würden wir mit Recht diese Constante auf die Leitungszeit beziehen, hier aber ist das Verhältniss lediglich durch den Unterschied in der Reizstärke — 15° gegen 20° — bedingt.

Obere Extremität. Am Oberarm wurde das mittlere und untere Drittel der ulnaren Fläche (Stufe IX und VIII) zur Prüfung gewählt, am Unterarm das mittlere und obere Drittel der Vola, letzteres vorzugsweise in seinem radialwärts gelegenen Theil (Stufe VII und VI). Die Partien des Unterarms entsprechen demnach am meisten denen des Gesichts, während diejenigen des Oberarms von etwas grösserer Empfindlichkeit sind. Bezüglich der Länge der Leitungsbahn kann man die in Betracht gekommenen Theile des Ober- und Unterarms ohne weiteres als gleich setzen.

Die in den einzelnen Versuchsreihen erhaltenen Durchschnittswerthe der Reactionszeiten sind für:

Oberarm		Unterarm	
	14·6		12·3
	16·2		14.2
	16·3		14·5
	17·8		18·0

Hier fällt nun sofort auf, dass die Werthe des Unterarmes meist kleiner sind, obwohl die Empfindlichkeit desselben von derjenigen des Oberarmes überragt wird. Man könnte hieraus einen Grund entnehmen, den behaupteten Einfluss der Empfindlichkeit anzuzweifeln. Jedoch ist dieser zu sicher erwiesen und es kann daher nur in Frage kommen, dass gewisse andere, noch nicht erwähnte Momente noch mitspielen. Wir sehen aus den Tabellen, dass die Schwankungen der Einzelwerthe beim Oberarme grösser sind als beim Unterarme. Dies könnte darauf deuten, dass die Empfindlichkeit in der gedachten Prüfungsregion am Oberarm weniger gleichmässig verbreitet ist als am Unterarm. Allein es zeigt sich bei einer dahingehenden Prüfung, dass dies nicht der Fall ist. Man könnte daran denken, dass die Entblössung am Oberarm, welcher an Temperaturschwankungen des umgebenden Mediums weniger gewöhnt ist als der Unterarm, eine Herabsetzung der Empfindlichkeit bewirkt. Ich glaube dies aber deshalb nicht annehmen zu dürfen, weil in der That die Empfindungen an ersterem intensiver waren als an letzteren. Dagegen möchte es von einem gewissen Einfluss sein, dass die Haut am Oberarm, namentlich nach innen vom Biceps, eine grössere Verschieblichkeit, ihre Unterlage eine grössere Nachgiebigkeit zeigt. Die Dichtigkeit der Anlagerung der Haut an die Kugel muss entschieden hierdurch beeinträchtigt werden und es ist wohl denkbar, dass bei einer Reihe von besonders ungünstig ausgefallenen Applicationen in Folge dessen die Reactionszeit verlängert worden ist. Aber lediglich hierdurch die Differenz zu erklären, erscheint mir misslich. Vielmehr liegt hier das erste einer Reihe von vorläufig unverständlichen Ergebnissen vor, für welche ich schliesslich eine, wie ich glaube, hinreichende Erklärung aufstellen werde.

Es wurde ferner am Oberarm je eine Versuchsreihe mit der in Wasser von 20° und von 24° C. gekühlten Kugel angestellt, welche die Durchschnittswerthe 24·4 und 27·9 ergaben.

Da die Empfindlichkeit der zur Prüfung gelangten Armregionen nicht hinter derjenigen des Gesichts zurückbleibt, ja am Oberam sogar grösser ist, ohne dass dies einen merklichen Einfluss ausübt, da ferner die Gruppi-

rung der Einzelwerthe insofern analoge Verhältnisse zeigt, als die Schwankungen derselben bei Gesicht und Arm von ähnlicher Ausdehnung sind, und nach den oben aufgestellten Sätzen deshalb eine ähnliche räumliche Verbreitung der Empfindlichkeit zu vermuthen ist, so sind hier die Bedingungen gegeben, unter denen ein Schluss auf Leitungszeit möglich ist. Schon die blosse Vergleichung der Gruppirung bei den verschiedenen Reihen des Armes mit derjenigen bei den Reihen des Gesichts lehrt, dass die niedrigste Gruppe bei letzteren relativ mehr Werthe enthält als bei ersteren. Eine merkliche Verschiebung der Gruppen ist jedoch nicht vorhanden. Allein da letztere je 5 Hundertstel Secunden umfassen, so wäre erst nachzusehen ob nicht bei einer Anordnung, welche feinere Details erkennen lässt, eine Verschiebung sich herausstellt. Es wurden, um dem nachzukommen, die beobachteten Einzelwerthe von 7—15 Hundertstel Secunden zusammengestellt und die relative Häufigkeit jedes, nach je 1 Hundertstel Secunde fortschreitend, im Verhältniss zu ihrer Gesammtzahl procentisch berechnet. Dies ergab folgende Beziehungen:

$^1/_{100}$ Sec.	Gesicht	Arm
7	9·2%	3·3%
8	16·2	6·5
9	11·6	1·6
10	9·2	13·2
11	13·9	11·6
12	11·6	16·6
13	9·2	16·6
14	11·6	18·2
15	6·9	11·6

Hierbei sind die Reihen vom Unter- und Oberarm zusammengefasst. Es geht aus der Tabelle hervor, dass die niedrigen Werthe bis 11 einschliesslich beim Gesicht häufiger vorkommen als beim Arm, während sodann das Umgekehrte statt hat. Vergleicht man bei den Minimalwerthen anfangend die Häufigkeitsverhältnisse, so findet sich, dass beim Arm die Werthe 7 und 8 so oft vorkommen, wie am Gesicht 7 allein, — 9 und 10 annähernd so oft wie am Gesicht 8, — 11 so oft wie 9 u. s. w., und so kann man ohne irgend einen Zwang auszuüben sagen, dass die Gruppirung der Werthe am Arm einerseits und am Gesicht andererseits sich so zu einander verhält, als ob die Gesichtswerthe um eine Constante von 2 Hundertsteln Secunde vermehrt wären. Da, wie bereits entwickelt, diese Constante auf nichts anderes bezogen werden kann, als auf die Leitungszeit,

so können wir als Ergebniss der Prüfungen in Anspruch nehmen, dass die Leitung der Erregung der Kältenerven vom Arm her circa 2 Hundertstel Secunde länger dauert als vom Gesicht. Wohl nimmt es unter diesen Umständen Wunder, dass die Durchschnittswerthe des Unterarmes sich zum Theil gar nicht über die des Gesichts erheben; aber wenn man die Mittelwerthe aller Reihen berechnet, so ergeben sich für Gesicht 13·5, für Oberarm 16·2, für Unterarm 15·2; das Verhältniss dieser Mittelwerthe ist ein derartiges, dass es das aus der Verschiebung der Werthgruppirungen gezogene Urtheil bestätigt. — Auch die mit der Kugel von 20° C. aufgenommene Reihe vom Oberarm zeigt gegen die ebenso ermittelte Reihe vom Gesicht bei einem Verhältniss der Mittelwerthe von 24·4:19·7 eine deutliche Verschiebung der Werthgruppen. Die beiden niedrigsten Gruppen enthalten beim Arm im Verhältniss zum Gesicht sehr wenig Zeitwerthe, so dass dort die Gesammtzahl der Werthe bis 25 Hundertstel nur ein wenig mehr beträgt als hier die Zahl derselben bis 20 Hundertstel. Dadurch dass schliesslich die Gruppenverschiebung sich ausgleicht, d. h. dass beim Arm die Zeitwerthe nicht um eine Gruppe höher hinaufgehen als beim Gesicht, documentirt sich, dass die Constante oder die Verschiebung eben weniger als eine Gruppe, d. h. als 5 Hundertstel Secunde, beträgt.

Den Werthen vom Ober- und Unterarm schliesst sich der von einer Versuchsreihe am Handrücken erhaltene mit 17·2 an. Es wurde das Gebiet zwischen den Mittelhandknochen des Daumens und Zeigefingers untersucht (Spatium interosseum primum), welches bezüglich der Kälteempfindlichkeit der VI. Stufe entspricht. Selbstverständlich wurde daranf geachtet, dass die Hand von normaler Wärme war, die Temperatur betrug im Prüfungsgebiet 32·3° C. Der Durschnittswerth ist etwas gross ausgefallen, wobei die etwas grössere Bahnlänge im Verhältniss zum Arm wohl kaum eine merkliche Rolle spielen möchte. Die Mehrzahl der Werthe zeigt nur geringe Schwankungen, insofern als 61·8 Proc. derselben in die Gruppe 16—20 fallen. Eine andere, mit der auf 20° gekühlten Kugel vorgenommene Reihe hat den Durchschnittswerth 23·3 ergeben und zeigt bezüglich der Gruppirung der Werthe eine sehr deutliche Verschiebung gegen die vorige Reihe, ähnlich wie wir es schon bei zwei ebenfalls durch verschiedene Reizstärken gewonnenen Reihen des Gesichts zu bemerken Gelegenheit hatten. Hervorzuheben ist, dass der Mittelwerth dieser Reihen kleiner ist als die unter denselben Bedingungen gewonnenen vom Oberarm. Auffallend ist ferner der relativ niedrige Durchschnittswerth, welcher am Handteller (Stufe IV) eruirt wurde — 19·5; freilich zeigt die Gruppirung der Werthe, dass die zwischen 21—25 gelegenen noch recht häufig sind — den dritten Theil aller ausmachen, während beim Handrücken hier nur 4·7 Procent verzeichnet sind.

Ich werde bei den Wärmeempfindungen Gelegenheit haben, auf die besonders guten Verhältnisse der Reactionszeiten an der Hohlhand zurückzukommen. An dieser Stelle bietet sich wieder die Möglichkeit, die Resultate von v. Vintschgau und Steinach zu citiren. Dieselben geben bezüglich der oberen Extremität — von bekleidet getragenen Hautpartien haben sie vorläufig Abstand genommen — folgende Zahlen an:

	v. Vintschgau.	Steinach.
Volarseite der Hand, Carpus-Mitte	0·186	0·152
Volarseite der Hand, nahe dem Ulnarrand .	0·206	0·186
Volarseite der Hand, Daumenballenfalte . .	0·185	0·194
Dorsalseite der Hand, nahe dem Ulnarrand .	0·208	0·179
Dorsalseite der Hand, nahe dem Radialrand .	0·204	·0·170

Meinem Prüfungsgebiet, Spat. inteross. prim., dürfte die letzte Stelle: Dorsalseite der Hand nahe dem Radialrand am nächsten kommen und würde sonach mein Werth 0·172 den Werthen 0·204 nnd 0·170 anzuschliessen sein, während mit der Hohlhand von gleicher Empfindlichkeit die Stelle Volarseite der Hand, Mitte Carpus, ist und demnach den Mittelwerthen der beiden Beobachter 0·186 und 0·152 der meinige mit 0·195 anzureihen ist Auch unter meinen Versuchsreihen befindet sich eine von der Vola des Handgelenks, welche jedoch den hohen Mittelwerth 26·3 aufweist; der Kältereiz war bei v. Vintschgau und Steinach stets erheblich stärker als in meinen Versuchen.

Bauch und Rücken. Von ersterem gelangte der seitliche Theil des Epigastriums und des Mesogastriums und zwar der oberhalb des Nabels gelegene Theil, Stufe IX und XI, von letzterem die Regio iliaca und lumbalis, Stufe XI und XII, zur Prüfung. Am Epi- und Mesogastrium wurde der Mittelwerth 22·6, an der Regio iliaca und lumbalis 22·7 eruirt. Was zunächst das Verhältniss dieser beiden zu einander betrifft, so kann man die Leitungsbahn, insoweit das Rückenmark in Frage kommt, und der Antheil dieses ist doch von weit grösserer Bedeutung für die Zeitdauer als die peripherische Nervenleitung (s. Exner), als ungefähr gleich ansehen, höchstens, dass diejenige der Regio iliaca-lumbalis nach dieser Richtung hin noch etwas länger sein dürfte als die des Epi- und Mesogastriums. Es erscheint demzufolge wieder auffallend, dass der Durchschnittswerth der Reactionszeit der weit empfindlicheren Regio iliaca und lumbalis nahezu als gleich weit mit derjenigen des Epi- und Mesogastriums sich herausstellt. Auch dic Gruppirung der Einzelwerthe hat bei beiden grosse Aehnlichkeit. Dies erinnert an das Verhältniss von Unterarm zu Oberarm und ich muss mich, wie dort, begnügen, auf den unten erfolgenden Erklärungsversuch hin-

zuweisen. Eine Vergleichung der beiden Prüfungsgebiete mit den oberen Extremitäten und dem Gesicht ist nach der Ausbildung ihrer Empfindlichkeit wohl möglich, danach würden sich die Mittelwerthe wie folgt verhalten:

Gesicht	13·5
Oberarm	16·2
Unterarm	15·2
Bauch	22·6
Rücken	22·7

Es besteht somit gegenüber dem Arm eine Differenz von 0·07—8, gegenüber dem Gesicht eine solche von 0·09 Secunden. Allein die Gruppirung der Werthe in den beiden Rumpfreihen unterscheidet sich wesentlich von derjenigen in den Reihen des Gesichts und der oberen Extremitäten, insofern die Werthe sich erheblich weiter ausdehnen und auch keine ausgesprochene Anhäufung zeigen, sondern vier bis fünf Gruppen mit nahezu gleicher relativer Häufigkeit betheiligen. Der mittlere Fehler des Durchschnittswerthes würde also erheblich grösser ausfallen als bei jenen Reihen. Durch die Ausdehnung der Werthe nach oben hin sind auch die beiden Durchschnittswerthe über Gebühr vergrössert worden, so dass sie die Reihe nicht in ganz zutreffender Weise vertreten. Es ist nämlich aus der procentischen Gruppirung leicht ersichtlich, dass beim Bauch die Hälfte, beim Rücken sogar mehr als die Hälfte der Werthe kleiner als die Durchschnittswerthe sind, während der letztere bez. ihm unmittelbar naheliegende Werthe geradezu selten vorgekommen sind. Die Art der Gruppirung der in Rede stehenden Reihen haben wir unseren früheren Ueberlegungen gemäss darauf zu schieben, dass die Anordnung der Empfindlichkeit in den betreffenden Regionen weniger gleichmässig ist, d. h. dass das Mischungsverhältniss von best- und minderempfindlichen Stellen ein ungünstigeres ist. Dies stimmt nun hier mit dem thatsächlichen, leicht nachzuweisenden Verhalten überein.

Immerhin aber bleibt es auffallend, dass die kleinen Zeitwerthe an diesen Rumpfpartien so wenig vertreten sind. Die beiden niedrigsten Gruppen enthalten verhältnissmässig kaum so viel Werthe als beim Gesicht meist die niedrigste allein und auch gegen die entsprechenden Gruppen der Armreihen stehen sie bedeutend zurück. Hierfür aber ist in der Vertheilung der Empfindlichkeit ein Grund nicht gegeben. Denn es sind keineswegs die bestempfindlichen Stellen spärlich gesät, speciell nicht an der Regio lumbalis und iliaca, sondern es sind nur Stellen von geringerer Empfindlichkeit in relativ grösserer Menge als bei den Vergleichsregionen eingestreut. Sehr intensive Eindrücke herrschten bei den Reactionsversuchen an beiden Partien durchaus vor. Wir sind daher nicht bloss berechtigt, sondern gezwungen, für die deutliche Verschiebung der kleinen Zeitwerthe

welche im Verhältniss zum Gesicht ungefähr den Umfang einer Gruppe, im Verhältniss zum Arm weniger als eine Gruppe beträgt, einen anderen Grund zu suchen und als solcher dürfte sich am natürlichsten die grössere Länge der Rückenmarksleitung praesentiren. Diese Zeitdifferenz ergiebt sich also, wenn man von der Gruppenverschiebung anstatt von den Mittelwerthen ausgeht, als geringer, und zwar hängt dies mit den besprochenen grösseren Werthschwankungen zusammen. Ohne nun aus einem derartigen, mehr schätzenden als berechnenden Verfahren genaue Zahlen herleiten zu wollen, möchte ich doch darauf hinweisen, dass der Versuch hierzu auf Zahlen führt, welche sich nicht allzuweit von den durch Exner für die Leitungsgeschwindigkeit des Rückenmarks mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ermittelten entfernen. Wenn man nämlich den Unterschied von einer Gruppe d. h. 0·05 Secunden zwischen Bauch bez. Rücken und Gesicht festhält, so wird sich, da die Zeitdifferenz zwischen ersteren und und Arm sicher weniger als eine Gruppe beträgt, in Ansehung des früher zwischen Arm und Gesicht ermittelten Unterschiedes von 0·02 Secunden als wahrscheinlichster Werth 0·03 Secunden ergeben, mit der Maassgabe, dass er eher mehr als weniger beträgt. Die peripherische Nervenstrecke ist beim Arm grösser als an den in Rede stehenden Rumpfgebieten, speciell als am Rücken; jedoch dürften diese Unterschiede in Ansehung der schnellen Leitung im peripheren Nerven und bei der Ungenauigkeit unserer Zahlen belanglos sein. Die zwischen den Armnerven einerseits und den Nerven des Epi- und Mesogastriums sowie denen der Lendengegend andererseits gelegene Rückenmarkstrecke veranschlage ich zu 25 bis 28 ^{cm}, wobei ich darauf hinweisen will, dass Exner an einem 1·73 Meter langen Leichnam die Entfernung zwischen Mitte der Halsanschwellung und Mitte der Lendenanschwellung zu 33 ^{cm} fand, dass die in Betracht kommenden Nerven jedoch noch oberhalb der Lendenanschwellung abgehen und ich 1·63 Meter gross bin. Exner ermittelte nun eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit der centripetalen Eindrücke im Rückenmark von 8 Metern in der Secunde, so dass 25 ^{cm} in $^1/_{32}$ Secunden durchmessen würden, was mit unserem Werth von 0·03 Secunden nahezu übereinstimmt.

Jedoch ist bei der Vergleichung nicht berücksichtigt worden, dass die Rumpfpartien z. B. von grösserer Empfindlichkeit sind als die Gesichts- und Armregionen. Es könnte sein, dass wir bei ganz gleicher Empfindlichkeit grössere als die zur Rechnung benutzten Zeitdifferenzen bekommen hätten. Auch in dieser Beziehung muss ich wieder auf die Schlussbetrachtung verweisen, in welcher ich versuchen werde, die jetzige Ueberlegung zu rechtfertigen.

Untere Extremitäten. Hier gelangte das untere Drittel der Innenfläche des Oberschenkels und die nach unten anschliessende Innenfläche

des Knies, erstere von Stufe VIII, letztere von Stufe VII zur Prüfung. Ferner die Innenfläche des obersten Abschnittes der Wade VII. Es wurden folgende Durchschnittswerthe ermittelt:

Oberschenkel	25·3
Knie	24·1 — 28·7 — 31·3
Wade	29·4 — 31·3.

Der gesammte Mittelwerth dieser Reihen beträgt 28.2.

Diese Durchschnittswerthe differiren nicht unerheblich unter sich, besonders diejenigen vom Knie. An diesem, sowie an der Innenfläche der Wade ist die Ungleichmässigkeit in der Verbreitung der Empfindlichkeit so deutlich, dass man sich leicht davon überzeugen kann. Die eine Kniereihe mit dem Mittelwerth 24·1 und die von der Wade mit dem Mittelwerth 29·4 sind als besonders glücklich getroffen aufzufassen. Die anderen Reihen — 28·7 — 31·3 — 31.3, von denen die letzten beiden nicht bloss im Durchschnittswerth, sondern auch in der Gruppirung merkwürdig übereinstimmen, zeigen viel bedeutendere Schwankungen der Einzelwerthe, d. h. enthalten eine grössere Zahl minderempfindlicher Stellen, wie sie besonders nach vorn zu an den genannten Partien liegen. Wir würden also diese Reihen nicht so gut zum Zwecke einer vergleichenden Betrachtung mit den früher geprüften Theilen verwenden können. Wohl aber die andere und namentlich die Oberschenkelreihe 25·3 und die eine Kniereihe 24.1. Die Werthe sind hier in ganz entsprechender Weise zusammengedrängt wie beim Gesicht, und zeigen eine ganz ähnliche Gruppirung. Zugleich ist ihr gegenseitiges Verhältniss deutlich genug ersichtlich, nämlich, dass die ersteren gegen die Gesichtsreihen um circa 2 Gruppen = 0·10 Secunden verschoben sind.. Die beiden niedrigsten Gruppen enthalten gar keine Werthe, die Gruppe 16—20 entspricht in ihrer Häufigkeit ungefähr der Gruppe 7—10 dort. Die höchsten Werthe gehen sogar um etwas mehr als 2 Gruppen höher hinauf als dort. Diese Differenz von 0·10 Sec. ist augenscheinlich auf die Leitungszeit zu beziehen. Beim Vergleich mit den Reihen des Armes kommen wir nicht auf 2 Gruppen, da die Gruppe 16—20 bei Oberschenkel und Knie erheblich stärker besetzt ist als bei den meisten Armreihen die Gruppe 7—10. Die Verschiebung beträgt weniger als 2, mehr als 1 Gruppe, — wir könnten allenfalls mit Rücksicht auf das bereits ermittelte Verhältniss von Arm zu Gesicht 0·08 Sec. annehmen. Diese Werthe erscheinen nun sehr gross, einmal im Hinblick darauf, dass Exner als Zeitdifferenz zwischen Fuss und Hand bei elektrischer Reizung nur 0·0466 Sec. erhalten hatte, ferner auch mit Rücksicht auf den soeben für die Zeitdifferenz zwischen Bauch — Rücken und Arm gefundenen Werth von 0·03 Sec. Freilich ist der Rückenmarksweg um die

Lendenanschwellung länger als dort, und es wäre ja möglich, dass gerade in dieser ein erheblicherer Zeitverlust stattfände. Allein dass dies so viel ausmachen sollte, erscheint mir gerade in Anbetracht der Exner'schen Zahl als wenig annehmbar. Auch das ist ein Punkt, welcher unten zu erörtern und zu erklären sein wird.

Wärmeempfindung.

Gesicht. Da die Gegenden von guter und möglichst gleichmässiger Wärmeempfindlichkeit im Allgemeinen von geringerem Umfang als die kälteempfindlichen sind, so sind auch die Prüfungsregionen hier mehr beschränkt. Beim Gesicht musste ich mich ziemlich dicht am äusseren Augenwinkel halten, um Empfindungen von der gewünschten besten Intensität zu bekommen. Der äussere Augenwinkel und seine nächste Umgebung entsprechen bezüglich der Wärmeempfindlichkeit der VIII., d. h. der höchsten Stufe. Wegen der Schmerzempfindlichkeit des Auges wurde die Kugel nur auf 45° erwärmt. Dadurch wird zum Theil auch der Einfluss der hier dünneren Epidermis, welche einen geringeren Wärmeleitungswiderstand darstellt, aufgehoben. Die Mittelwerthe der drei Versuchsreihen betragen: 14·0 — 15.3 — 16·0 mit einem Gesammtmittelwerth von 14·8, differiren also nur unerheblich von einander, wie auch die Gruppirung der Einzelwerthe nur unbedeutende Abweichungen zeigt. Eine Vergleichung mit den von v. Vintschgau und Steinach ermittelten Werthe ist deshalb nicht gut auszuführen, weil letztere von wenigerempfindlichen Partien stammen. Jedoch mögen dieselben hier citirt werden:

	v. Vintschgau.	Steinach.
Rechte Schläfe	0·166	0·132
Linke Schläfe	0·185	0·138
Mitte der Stirn	0·144	0·128
Rechte Wange	0·154	0·117
Linke Wange	0·158	0·146

Wenn man von den verschiedenen Empfindlichkeiten (s. u.) absieht, so würde die Uebereinstimmung besonders mit den Werthen v. Vintschgau's wohl genügend deutlich sein.

Es fällt nun sofort auf, dass die Werthe 14·0 — 15·3 — 16·0 (Gesammtmittelwerth 14·8) grösser sind als die bei Kältereizen ermittelten 12·5 — 13·5 — 14·5 (Gesammtmittelwerth 13·5). Jedoch spricht die Art der beiderseitigen Gruppirungen nicht dafür, dass es sich um eine Vergrösserung der Kältewerthe um eine Constante handelt. Die Gruppe der niedrigsten Werthe ist bei den Wärmereihen sogar etwas mehr besetzt als bei den Kältereihen. Irgend eine Verschiebung ist nicht zu erkennen;

jedoch gehen die Wärmewerthe etwas höher hinauf. Dies kann verschiedene Gründe haben: es könnte sich um Ermüdungserscheinungen handeln, aber dies ist deshalb nicht wahrscheinlich, weil bei den Kälteversuchen sich ja eben solche hätten einstellen müssen. Allein die Wärmeempfindlichkeit ist überhaupt weniger gleichmässig veranlagt als die Kälteempfindlichkeit. In einem Gebiet, wo grössere Flächenreize intensiv empfunden werden, zeigen sich bei enger umgrenzten Reizen vielfach sehr wenig empfindliche Stellen unmittelbar zwischen bestempfindliche eingelagert. Neben dem, was später über das Verhältniss der Wärmereize zu den Kältereizen zu sagen sein wird, möchte ich für den augenblicklich vorliegenden Fall die gegebene Erklärung bezüglich des vereinzelten Eintreffens höherer Werthe bei den Wärmeversuchen bevorzugen. Eine Verlängerung der Leitungszeit bei den Wärmereizen wird jedenfalls durch die erhaltenen Resultate nicht dargethan.

Obere Extremität. Vom Oberarm kam die innere Fläche des unteren Drittels, Stufe VI, zur Prüfung. Vom Unterarm die radiale Hälfte der Vola im Bereich des obersten Drittels, Stufe VI. Hier haben wir also schon die Schwierigkeit, dass Regionen, welche den im Gesicht geprüften an Empfindlichkeit gleichkommen, nicht zur Verfügung stehen. Der empfindlichste Bezirk des Armes, die Gegend der an der Innenseite des Biceps gelegenen Muskelfurche, konnte theils aus mechanischen Gründen, theils deshalb nicht zur Verwendung gelangen, weil er ausserordentlich ungleichmässig veranlagt ist. Eine einfache Nachprüfung giebt sofort die Ueberzeugung, dass die hier herangezogenen Regionen sich an Wärmeempfindlichkeit mit dem Augenwinkel nicht messen können. Die eruirten Mittelwerthe sind:

Oberarm 27·5,
Unterarm 26·6 — 27·8.

Der Gesammt-Mittelwerth: 27·2.

Diese durchschnittlichen Werthe variiren nur wenig von einander; jedoch ist die Gruppirung nicht gerade sehr ähnlich in den verschiedenen Reihen. Die Schwankungsbreite der Einzelwerthe erhebt sich nur wenig über die Augenreihen. Dabei fehlen nun die beiden untersten Gruppen vollständig. Das Gros der Werthe erstreckt sich von 16—30, resp. 35, während es bei den Gesichtsreihen zwischen 7 und 20 liegt. Wir können demnach eine ziemlich constante Differenz der Werthe beider Serien von Versuchsreihen im Betrage von ca. zwei Gruppen und etwas mehr constatiren und würden die Kriterien besitzen, welche für Leitungszeit sprechen, wenn wir beiderseits gleiche Empfindlichkeit hätten. Da dieselbe aber als höchst verschieden bezeichnet werden muss, so sind wir zunächst genöthigt, so viel von der Differenz auf diesen Unterschied zu schieben,

als nach unseren Erfahrungen demselben zukommt. Nach der oben (S. 442) gegebenen tabellarischen Zusammenstellung aber über den Einfluss der jeweiligen Wärmeempfindlichkeit auf die Zeit gab ein Unterschied von ebenfalls zwei Stufen eine viel grössere Differenz der Zeitwerthe, und wenn nun auch, wie ich bereits bemerkte, die Stufen keine gleich grossen Dinge bedeuten, so dürfte doch durchaus plausibel sein, dass wir mit vollem Recht diesen hier vorliegenden constanten Zeitunterschied von 10 bis 12 Hundertsteln Secunde auf die ungleiche Empfindlichkeit schieben können, und nur allenfalls einen gewissen, aus den praestirenden Zahlen nicht zu ermittelnden Werth als Leitungszeit davon herausnehmen dürfen, dessen Grösse den bei den Kälteempfindungen gefundenen Werth nicht zu übersteigen brauchte. Dies Raisonnement wird durch eine Versuchsreihe bewahrheitet, welche am Gesicht vorgenommen und jetzt nachträglich zu referiren ist. Dieselbe betraf den an den äusseren Augenwinkel und dessen Umgebung anstossenden Schläfentheil, welcher der Stufe VI und weiterhin V entspricht. Als ich die Bedeutung des Empfindlichkeitsunterschiedes noch nicht so scharf gefasst hatte, glaubte ich, weil an dem gedachten Bezirk doch immerhin ziemlich intensive Empfindungen entstehen, die Resultate mit denen vom äusseren Augenwinkel zusammenfassen zu müssen. So entstand der in der vorläufigen Mittheilung angegebene Werth 19. Im Uebrigen habe ich schon damals in meinem Vortrage zum Ausgangspunkt anderweitiger angeschlossener Betrachtungen nicht den Werth 19, sondern 15 genommen. Die in Rede stehende Versuchsreihe nämlich hatte den Mittelwerth 26·5 ergeben, welcher also fast die Höhe der Werthe vom Arm erreicht und zugleich von einem Territorium stammt, dessen Empfindlichkeit derjenigen der Armgebiete entsprechend ist. Schlagender könnte es wohl nicht bewiesen werden, dass die Zeitdifferenzen, welche hier in Frage kommen, mit der Leitungsbahn nichts zu thun haben, sondern lediglich mit der Empfindlichkeit. In derselben Richtung lässt sich eine an der Stirn dicht über der Glabella vorgenommene Versuchsreihe verwerthen, welche bei einem Stufenwerth III der Prüfungsregion zu dem durchschnittlichen Ergebniss 34.4 geführt hat. Die grössere Dünnheit der Oberhaut an den Augenlidern berücksichtige ich deshalb hier nicht mehr, weil ich nicht entscheiden kann, inwieweit dieses Moment bereits in der grösseren Empfindlichkeit der betreffenden Stelle enthalten ist. An dieser Stelle muss ich noch einmal die v. Vintschgau und Steinach angegebenen Zahlen citiren, weil leider hier die zuerst constatirte, weiterhin dann schon etwas zweifelhaft gewordene Uebereinstimmung gänzlich fehlt. v. Vintschgau und Steinach geben gerade für Schläfe und Mitte der Stirn, also Gegenden, welche wir soeben nachträglich behandelt haben, folgende Mittelwerthe an:

	v. Vintschgau.	Steinach.
Rechte Schläfe	0·166	0·132.
Linke Schläfe	0·185	0·138.
Mitte der Stirn	0·144	0·128.

Zur Milderung dieser Differenz möchte ich darauf hinweisen, dass sowohl Schläfe wie Stirnmitte auch einzelne begrenzte besser empfindliche Stellen enthält und da die citirten Autoren ihre Versuche je an einer bestimmten Stelle ausgeführt haben, so ist wohl zu vermuthen, dass sie eine solche wählten, an welchen eine gute und deutliche Wärmeempfindung zu Stande kam. Als einen Beweis für die Richtigkeit dieser Anschauung möchte ich ansehen, dass z. B. bei meinen Schläfenversuchen Werthe von 11—15 mit 6·4, von 16—20 mit 12·8 Häufigkeitsprocenten vertreten sind.

Die eben behandelten Wärmereactionszeiten bedeuten, streng genommen, etwas anderes als diejenigen der Kälteempfindungen. Bei den letzteren nämlich geschahen die Reactionen, sobald ein intensiver Kälteeindruck gefühlt wurde, während dort auf den eben merklichen Beginn einer Empfindung reagirt wurde, welche dann allerdings auch zu einer intensiven anwuchs. Ich habe, um in dieser Beziehung gleichartige Verhältnisse herbeizuführen, bei einer Anzahl von Versuchsreihen absichtlich erst reagirt, wenn die Wärmeempfindung ihre intensive Höhe erreicht hatte, und hierbei ergaben sich dann erheblich grössere Werthe, welche in den Tabellen besonders aufgeführt sind (Tab. IV). Stellt man sich also auf den Standpunkt, dass es weniger darauf ankomme, den Beginn zweier Empfindungen, sondern Empfindungen von relativ gleicher Deutlichkeit bezüglich ihres zeitlichen Eintretens zu vergleichen, so wird man auf einen in der That in die Augen fallenden Unterschied der beiden Sinnesqualitäten geführt, welcher zugleich, wie wir sehen werden, den Kern unserer Frage bildet.

Rumpf, Regio iliaca, auch lumbalis (Stufe VIII). Die beiden Versuchsreihen ergaben die Mittelwerthe 42·7 und 44·9, deren Differenz im Verhältniss zu ihrer absoluten Grösse nicht erheblich erscheint; der Gesammtmittelwerth ist 43·8. Die Werthgruppirung zeigt insofern mangelnde Uebereinstimmung, als die Grösse der Schwankungen sich verschieden verhält. Die niedrigsten Zeitwerthe fehlen ganz; solche von 16—35 kommen vereinzelt vor; am häufigsten sind diejenigen von 36—55, indem sie sich zugleich ziemlich gleichmässig vertheilen; höhere Werthe kommen wieder seltener zur Beobachtung. Die Gruppenverschiebung gegen die Gesichtsreihen beträgt hiernach 29—35, was mit der Differenz der beiderseitigen Mittelwerthe (29) gut übereinstimmt; jedoch handelt es sich, wie man sieht, nicht um einen constanten Werth, welcher sich zu den Einzel-

werthen der Gesichtsreihen hinzu addirt hätte, denn die Werthe sind bei den Reihen der Regio iliaca weniger zusammengedrängt, d.h. die Schwankungen, der mittlere Fehler sind grösser. Wir werden uns darnach die Vorstellung zu bilden haben, dass etwa eine constante Differenz vorhanden ist, welche aber dadurch variirt wird, dass die Empfindlichkeit an der Regio iliaca im Zusammenhang mit der viel grösseren Flächenausdehnung des Prüfungsbezirkes etwas weniger gleichmässig verbreitet ist. Der aus der Gruppenverschiebung resultirende Werth müsste demnach eine Abzugscorrection erhalten. Man kann nun auch für den corrigirten Werth eine untere Grenze nach Maassgabe der Vergleichung mit den Augenreihen feststellen. Derselbe wird etwas unter 29 gehen, weil sonst die vereinzelten Werthe unterhalb 36, abzüglich 29, ein überhaupt unmögliches Minimum bei den Augenreihen voraussetzen würden. Andererseits ist jedoch diesen vereinzelten Werthen kein zu grosses Gewicht in dieser Hinsicht beizulegen, da es sich ja um unexacte Beobachtungen handeln könnte. Wir werden somit als Constante in diesem Falle einen an 29 ziemlich nahe herankommenden Werth betrachten. Da nun die Regio iliaca von gleicher Empfindlichkeit wie die geprüfte Augenregion und bezüglich der Ungleichartigkeit bereits eine Correctur eingetreten ist, so liegt es nahe, den gefundenen Unterschied auf die Leitungsbahn zu beziehen. Freilich hat man dabei noch zu berücksichtigen, dass das Stratum corneum der Oberhaut im Gesicht und speciell am Augenlid dünner als am Rücken ist. Henle giebt folgende Zahlen für die Dickenverhältnisse der Oberhaut an:

Augenlider:	0·03 — 0·05 mm,
Beugeseite der Glieder Vorderseite des Rumpfes	0·08 — 0·1 mm,
Streckseite der Glieder Gesicht	0·1 — 0·18 mm,
Fusssohle	1·7 — 2·8 mm,
Handfläche	0·9 — 1·2 mm.

Wir werden unten erfahren, dass die Oberhautdicke von erheblichem Einfluss auf die Zeit ist. Dass dieselbe jedoch für die hier bestehenden Differenzen nur zu einem sehr geringen Theil verantwortlich zu machen ist, sehen wir schon aus dem Beispiel des Armes, an welchem wir viel kleinere Werthe als hier, noch dazu bei geringerer Empfindlichkeit desselben, gefunden hatten. Anderweitige Momente, welche ein schlechteres Wärmeleitungsvermögen der Rückenoberhaut bedingen möchten, sind mir nicht erfindlich und auch in Rücksicht auf den ebendort mit Kältereizen gefundenen Durchschnittswerth von 22·7 auszuschliessen. Der Wirkung

der Entblössung dieses stets bekleideten und besonders warm gehaltenen Körpertheiles die Schuld beizumessen, halte ich nicht für angängig, weil die Temperatur der Haut sich nach der Entblössung nicht erheblich verändert (Zimmertemperatur ca. 20° C.)[1] und die Wärmeempfindungen bei den Reizen von grosser Intensität waren. Natürlich liess ich immer einige Minuten nach der Entblössung bis zum Beginn der Versuche vergehen, da in dem Augenblick derselben gleichzeitig mit dem Gefühle der Kühle und der eventuellen Gänsehautbildung eine vorübergehende Herabsetzung der Empfindlichkeit eintritt. Diese Versuche geschahen ausserdem in einem kleinen, von Anderen nicht benutzten, zugfreien Zimmer. Wir würden somit in der That in der Lage sein, eine im Vergleich zur Erregung der Kältenerven langsamere Fortleitung der Erregungen der Wärmenerven im Rückenmark anerkennen zu müssen, wenn nicht noch ein anderes Moment zu berücksichtigen wäre, dessen Besprechung jedoch der Bericht über die Versuche am Bauch und an den unteren Extremitäten vorangehen möge.

Bauch. Epigastrium, in der Mittellinie und seitlich, Stufe VI und VII.

Die Reihe ergab den Mittelwerth 62·2. Man kann es derselben zum Vorwurf machen, dass sie eine Region betrifft, welche zwei Stufen entspricht. Ich muss in dieser Beziehung wiederholen, dass die Bedeutung der Empfindlichkeit damals eben noch nicht so vollständig erkannt war. Uebrigens überwiegt bei weitem die Stufe VI, da die Application vorwiegend in der Mittellinie stattfand. Die locale Empfindlichkeit wechselt am Unterleib ganz ausserordentlich, daher sind auch die Schwankungen der Werthe so gross, wie wir sie noch nicht kennen gelernt haben. Eine Vergleichung der Reihe mit den vorigen bezüglich einer constanten Differenz kann deshalb nicht stattfinden. Jedoch wird sich später im Anschluss an die Betrachtung der mässig empfindlichen Armpartien Gelegenheit finden, die am Bauch gewonnenen Resultate in Richtung unserer Frage zu verwerthen.

Untere Extremität. Es gelangte das untere Drittel der Innenfläche des Oberschenkels und die Innenfläche des Kniegelenkes zur Prüfung, beide von der Stufe IV. Dies sind, von einer kleineren begrenzten Partie an der Vorderinnenfläche des Oberschenkels in mittlerer Höhe desselben abgesehen, die wärmeempfindlichsten Gebiete der unteren Extremität. Die Mittelwerthe sind:

Oberschenkel 74·3 — 81·2,
Knie 82.5,
mit dem Gesammtmittelwerth 78·2.

Die einzelnen Mittelwerthe differiren zum Theil erheblich von einander,

[1] Vergl. Eine neue Methode der Temperatursinn-Prüfung. *Archiv für Psychiatrie.* Bd. XVIII. Heft 3.

jedoch ist die bedeutende absolute Grösse der Werthe dabei zu berücksichtigen. Auch die Schwankungen der Einzelwerthe sind nicht gering und die Gruppirung derselben nicht sehr übereinstimmend. Es ist besonders zu bemerken, dass Zeitwerthe der verschiedensten Grösse mit annähernd gleicher Häufigkeit vorkommen. Die Erklärung dafür ist in der bereits bei den Kältereizen hervorgehobenen Ungleichartigkeit der betreffenden Prüfungsregionen zu suchen. Dennoch können wir aus den vorliegenden Reihen Schlüsse ableiten, weil sie in charakteristischer Weise das Fehlen einer grösseren Zahl von Gruppen zeigen: zwei Reihen setzen bei 56, eine bei 66 ein. Daraus folgert sich ohne weiteres, dass die Perception der Wärmeempfindung hier bestenfalls um 49—59 Hundertstel Secunde später erfolgt als von den empfindlichsten Partien des Gesichts. Eine solche Zeitdifferenz kann der Unterschied in der Empfindlichkeit zwischen Stufe VIII und IV nicht bedingen. Dies geht daraus hervor, dass an der Nase, einem Bezirk von der Stufe I und II, also einem wesentlich schwächeren als die untere Extremität, der Mittelwerth 51·3 und an der Stirn dicht über der Glabella der Werth 34·4 sich ergeben hat. Auch unter Hinzurechnung der für die Kälteempfindungen als wahrscheinlich ermittelten Leitungszeit können wir auf so hohe Werthe nicht kommen, wie sie hier sich ergeben haben. Wir werden daher hier ebenso wie bei der Regio iliaca zu dem Resultat geführt, dass die Perception der Wärmeempfindung um eine so grosse Spanne Zeit später als beim Gesicht zu Stande kommt, dass wir dieselbe nicht ohne weiteres erklären können, sondern besondere, der Wärmeempfindung eigenthümliche Verhältnisse voraussetzen müssen. Wie gross nun der zu erklärende Zeitbetrag bei der unteren Extremität ist, konnten wir aus der Vergleichung mit dem Gesicht nicht ermessen, weil der Empfindlichkeitsunterschied zu bedeutend war; jedoch wird dies gelingen, wenn wir andere bisher nicht erwähnte Versuchsreihen in Betracht ziehen.

Es wurden nämlich auch einige mässig empfindliche Partien an der oberen Extremität geprüft, und zwar am Oberarm ein der Mitte der Vola angehöriges Gebiet von der Stufe IV und am Unterarm das obere Drittel der Vola mit Ausnahme des — oben behandelten — radialen Theiles derselben von der Stufe IV und III. Ferner ein Theil der Vola des Handgelenkes von Stufe III und IV, das Spatium interosseum prim. des Handrückens und der empfindlichste Theil der Hohlhand, bei mir von Stufe IV. Die gewonnenen Mittelwerthe sind folgende:

Oberarm	54·2,
Unterarm	56.9 — 59·1 — 61·9,
Handgelenk	41·6,
Hohlhand	35·8,
Handrücken	63·0.

Zunächst ist hier der auffallende Umstand zu bemerken, dass der Werth vom Handgelenk niedriger als die Werthe vom Ober- und Unterarm ist, obwohl die Leitungsbahn länger und die Empfindlichkeit eher geringer als besser ist, und dass der Werth von der Hohlhand sich am kleinsten erhält, obwohl die Hornschicht dort erheblich dicker als an den vorbenannten Partien ist. Wir werden diese Erscheinung später zu verwerthen haben. Die Schwankungen der Einzelwerthe sind im Allgemeinen hier erheblich grösser als bei den intensiv empfindlichen Partien, im Zusammenhang damit, dass mit der Abnahme der regionären Empfindlichkeit der locale Wechsel derselben und die Untermischung schwach, ja gar nicht empfindlicher Stellen zunimmt. Dadurch kommt es denn auch, dass anscheinend die Differenz der Zeitwerthe dieser Reihen gegen diejenigen von den empfindlicheren Armpartien (Stufe VI) eine unnatürlich grosse ist. Bei letzteren hatte sich als Gesammtmittelwerth 27·2 ergeben; hier haben wir Werthe, welche um etwa 30 grösser sind. Dagegen verhält sich im Gesicht Stufe VIII zu Stufe III nur wie 14·8 zu 34·4. Allein die geprüfte Stirnpartie ist von ganz geringer Ausdehnung und dem entsprechend auch von viel grösserer Gleichmässigkeit als die ausgebreiteten Bezirke, welche am Arm zur Prüfung gelangten. Es ist daher an letzterem nicht bloss das Verhältniss: Stufe VI zu Stufe IV zu berücksichtigen, sondern auch die erhebliche Verschlechterung der Gleichmässigkeit der Empfindlichkeit, wie sie sich in den bedeutenden Werthschwankungen ausspricht. Ausserdem aber bestehen bezüglich der Gesichtspartien besonders günstige Verhältnisse, welche nachher zu erörtern sein werden. Jedenfalls liegen die von den mässig empfindlichen Armregionen gewonnenen Resultate nun einmal so vor und setzen uns in die Lage, einen Vergleich mit den dieselbe Empfindlichkeit besitzenden Partien der unteren Extremität vorzunehmen. Die Mittelwerthe unterscheiden sich beiderseits um etwa 20, und die Verschiebung der Reihen beträgt 3—5 Gruppen, d. h. 15—25. Dabei sind die Schwankungen der Einzelwerthe an der unteren Extremität nicht grösser als an den in Rede stehenden Armregionen. Wir würden hiernach für den zwischen Arm und Bein bestehenden Unterschied der Leitungsbahn — welcher im Wesentlichen ein solcher der Rückenmarksleitung ist — einen zwischen 15 und 25 gelegenen Werth, etwa 20, anzunehmen haben, und da wir zu dem Schluss gekommen waren, dass bezüglich des Verhältnisses von Gesicht zu Arm die Leitungszeit der Wärmeempfindung sich nicht von derjenigen der Kälteempfindung unterscheide, so können wir den vorher in Frage gebrachten Zeitbetrag zwischen Bein und Gesicht auch auf etwa 20 normiren, insofern als die Leitungszeit vom Arm her nicht in's Gewicht fällt gegenüber der Ungenauigkeit dieses Werthes. Es ist daher von dem oben eruirten Betrage von 49—59 die Mehrheit auf

den Empfindlichkeitsunterschied zu schieben. Damit wären wir nun zugleich ebenso wie bei der Regio iliaca und lumbalis, bei welcher übrigens ein etwas höherer Differenzbetrag sich ergeben hatte, dazu gelangt, dass anscheinend die Fortleitung der Erregung der Wärmenerven im Rückenmark langsamer geschehe als derjenigen der Kältenerven.

Wenn wir auch aus den am Unterleib gewonnenen Werthen wegen ihrer grossen Schwankungen ähnliche vergleichende Schlüsse nicht ziehen können, so lässt sich doch jetzt übersehen, dass wir auch hier auf ähnliches geführt werden, wie beim Rücken und Bein. Denn bei Vergleichung der Mittelwerthe der Bauchreihe einerseits, der Armreihen, welche ebenfalls von Stufe VI gewonnen sind, andererseits, ergiebt sich eine Differenz von 35; bei Vergleichung der niedrigsten Werthe eine solche von 20, welche, da die niedrigsten Gruppen beim Bauch sehr schwach besetzt sind, eher grösser ist, während die Differenz der Mittelwerthe eher kleiner ist als 35, weil durch die ungleichmässige Verbreitung der Empfindlichkeit am Bauch der Durchschnittswerth über Gebühr erhöht worden ist. Somit ergiebt sich ein zwischen 20 und 35 gelegener Betrag als derjenige, welcher, den vorangegangenen Ueberlegungen zu Folge, der Rückenmarksleitung zuzufallen scheint.

Ueber den Schwellenwerth.

Jetzt ist es nun an der Zeit, einen schon mehrfach vorgreifend angedeuteten Gesichtspunkt aufzustellen, welcher dazu dienen soll, die räthselhaften Wärmereactionszeit-Prüfungen in anderer Weise zu erklären, als durch die Annahme einer verlangsamten Leitung des Rückenmarks.

Es seien zwei Hautstellen gegeben, welche gleiche Eigentemperatur, gleiche Dicke der Oberhaut und auch die sonstigen in Betracht kommenden physikalischen Eigenschaften in gleicher Weise besitzen. Es wirke nun auf jede Stelle ein gleicher Wärmereiz ein, sagen wir ein solcher, welcher um 0·2° C. höher temperirt ist als die Eigentemperatur der Haut: so muss die Erwärmung, welche die von den Nervenendigungen durchsetzte Hautschicht (Endorganschicht, empfindliche Schicht) in einer gewissen Zeit erleidet, an beiden Stellen gleich gross sein. Dennoch wird dieser Wärmereiz wohl an der einen, nicht aber an der anderen Stelle wahrgenommen. Denn wir wissen durch Eulenburg, dass die Grösse des zur Erzeugung einer eben merklichen Kälte- oder Wärmeempfindung nothwendigen Kälte- oder Wärmereizes an den verschiedenen Körperabschnitten erhebliche Unterschiede zeigt, — Unterschiede, welche sich durch irgend

welche bekannte physikalische, anatomische oder physiologische Besonderheiten nicht erklären lassen, sondern wahrscheinlich auf den Gebrauch, auf Anpassung, Uebung zurückzuführen sind. Hervorzuheben ist, dass die Differenzen der eben merklichen Reizgrössen auch mit der absoluten Empfindlichkeit sich nicht decken, wie ich gelegentlich meiner topographischen Untersuchungen des Temperatursinns gezeigt. Sonach muss die Abkühlung oder Erwärmung der empfindlichen Schicht an gewissen Hautpartien grösser sein als an anderen, um merklich zu werden. Ob es dabei auf die wirkliche Grösse der Temperaturveränderung ankommt oder auf die Schnelligkeit, mit welcher dieselbe vor sich geht, wissen wir vorläufig nicht. Jedenfalls besitzt diese Veränderung der Nervenendorganschicht, sei es nach der einen oder nach der anderen oder nach beiden Richtungen einen Schwellenwerth, bei welchem eine Empfindung ausgelöst wird. Nun steht offenbar die Grösse der Temperaturveränderung in der betreffenden Schicht zur Dauer der Reizwirkung in Beziehung: je länger das kalte oder warme Object mit der Haut in Berührung bleibt, desto mehr wird die Temperatur der Schicht sich derjenigen des Objects nähern. Aber auch die Geschwindigkeit der Temperaturveränderung wird von der Zeit beeinflusst; denn einmal wird dieselbe geringer werden, sobald durch die Temperaturveränderung der Schicht selbst die Differenz zwischen ihrer und der Reiz-Temperatur immer mehr verringert wird; andererseits aber wird dieselbe von Beginn an bis zu einem gewissen Zeitpunkt wachsen (s. Beilage). Sonach wird das Erreichen des Schwellenwerthes in jedem Falle von der Zeitdauer des Reizes abhängig sein; damit aber ist ausser der Reizstärke selbst, d. h. der Differenz zwischen Object- und Hauttemperatur noch ein zweiter Factor gegeben, welcher auf den Schwellenwerth von bestimmendem Einfluss ist. Derselbe erhellt auf das Deutlichste aus den früher berichteten Versuchen, bei welchen Temperaturreize von verschiedener Intensität angewendet worden waren und bei denen sich zeigte, dass schwächere Reize später percipirt wurden, d. h. länger wirken mussten, um die Veränderung der Endorganschicht bis zum Schwellenwerth zu bringen. In ganz entsprechender Weise wird nun, wenn wir zu unserem Beispiel zurückgehen und noch hinzusetzen, dass an der einen Stelle eine Differenz von $0 \cdot 2^0$ C., an der anderen aber erst eine solche von $1 \cdot 0^0$ C. genügt, um eine Wärmeempfindung zu erzeugen, bei Anwendung eines gleich starken Wärmereizes auf beide an der letzteren Stelle der Schwellenwerth später erreicht werden als an ersterer. Denn die zur Auslösung einer eben merklichen Wärmeempfindung erforderliche Erwärmung der Endorganschicht, d. h. eben der Schwellenwerth, muss bei ihr grösser sein als bei der erstgenannten Stelle. So ergiebt sich also eine Beziehung der Eulenburg'schen Schwellen-

werthe zu unseren Reactionszeiten. Es erscheint deshalb zweckmässig, die für uns jetzt in Betracht kommenden jener Werthe hier zu citiren:[1]

	Minimale Kältedifferenz
Stirn (über der Glabella)	0·2
Hohlhandwulst der Finger	0·3
Oberes Augenlid	0·3
Handrücken (vorderer Theil)	0·3—0·4
Dorsalseite des Vorderarmes (bis zur Mitte hinauf)	0·3—0·4
Wangengegend	0·4
Volarseite des Vorderarmes	0·4
Volarseite des Handgelenkes	0·5
Oberarm	0.5
Innere Fläche des Unterschenkels (oberster Theil)	0·5—0·6
Vordere Fläche des Oberschenkels (unterster Abschnitt) Gegend des inneren Fussrandes	0·6
Patellargegend	0·6—0·7
Vordere Fläche des Oberschenkels (mittlerer Abschnitt)	0·6—0·7
Unterbauchgegend (seitlich)	0·8
Rücken (seitlich)	0·9
Unterbauchgegend (Mitte)	0·9
Umbilicalgegend	1·0
Rücken (Medianlinie)	1·0
Epigastrium (Mitte)	1·0—1·1

	Minimale Wärmedifferenz
Stirn (über der Glabella)	0·2
Dorsalseite des Vorderarmes (vorderer Abschnitt)	0·2
Oberes Augenlid	0·3
Volarseite des Vorderarmes	0·3—0·4
Wangengegend	0·4
Handrücken (vorderer Theil)	0·4
Hohlhandwulst der Finger	0·4—0·5
Volarseite des Handgelenkes	0·4—0·5

[1] Zur Methodik der Sensibilitätsprüfungen, besonders der Temperatursinnsprüfung. *Zeitschrift für klinische Medicin.* Bd. IX. Hft. 2.

	Minimale Wärmedifferenz
Innere Fläche des Unterschenkels (oberster Theil)	0·4—0·5
Oberarm	0·5
Vorderfläche des Oberschenkels (unterster Abschn.)	0·5—0·6
Innerer Fussrand	0·6—0·7
Patellargegend	0·6—0·7
Unterbauchgegend (seitlich)	0·8
Umbilicalgegend	0·8
Unterbauchgegend (Mitte)	0·9
Epigastrium (Mitte)	0·9
Rücken (seitlich)	0·9—1·0
Rücken (median)	1.1

Wenn wir nun auch schliessen mussten, dass die vorstehend auszugsweise citirten Zahlen von Einfluss auf die Reactionszeit sind, so ist eine andere Frage, ob dieser Einfluss überhaupt ein merklicher ist, besonders bei den angewendeten starken Reizen, denn je grösser die im gegebenen Fall zur Anwendung kommende Temperaturdifferenz im Verhältniss zur eben merklichen Temperaturdifferenz ist, desto mehr wird der durch die localen Verschiedenheiten dieser eben merklichen Temperaturreize bedingte Zeitunterschied verschwinden. Da wir nichts über die Vorgänge in der empfindlichen Schicht wissen, so können wir auch nichts darüber aussagen, in welcher Ausdehnung die Eulenburg'schen Zahlen bei maximalen Reizen die Zeit beeinflussen. Es fragt sich nun aber weiter, in wie weit diese Zahlen überhaupt einen Schluss auf den Schwellenwerth — in der oben definirten Bedeutung desselben — gestatten. Ist das Verhältniss einfach so, dass dort, wo der eben merkliche Reiz grösser ist, auch der Schwellenwerth entsprechend grösser ist?

Ich meine, dass die Sache nicht so einfach liegt. Dies zeigen die Wärmereize. Wenn ich an genügend reichlichen Zahlen gezeigt habe, dass die Zeiten für die Wärmeempfindungen so auffallend gross sind, wenn Andere — wie Eingangs berichtet — Aehnliches beobachtet haben, so darf wohl vorausgesetzt werden, dass auch bei Eulenburg's Schwellenbestimmungen dasselbe stattgefunden hat. Wir hatten bisher diese Erscheinung bloss nach der Richtung der späten Wahrnehmung ausgebeutet; allein es ist nicht ausser Acht zu lassen, dass in den Fällen, wo die Empfindung später eingetreten ist, auch der Reiz länger gewirkt hat. Wenn die Reactionszeit, d. h. also auch die Reizzeit nach meinen Versuchen für Wärmereize am Auge 14·0 bis 16·0, an der Stirn (dicht über der Glabella) 34·4 beträgt, Eulenburg aber für das obere Augenlid 0·3°, für die Stirn 0·2° als Minimal-Wärmereize gefunden hat, so ist anzunehmen, dass er an

letzterer zwar mit geringerem Reiz, aber doch erst nach längerer Zeit eine Empfindung bekommen hat, dass sonach der wahre Schwellenwerth an diesem Theil doch grösser ist, als es nach dem „Schwellenreiz" — ich gestatte mir diesen Ausdruck nur behufs leichterer Verständigung — scheint. Wie sich nun aber unter diesen Verhältnissen der Schwellenwerth der Stirn, d. h. ihrer Nervenendorganschicht, zu demjenigen des oberen Augenlids in Wirklichheit verhält, können wir nicht einmal vermuthen, da es nicht anzunehmen erlaubt ist, dass die Temperaturveränderung dieser Schicht einfach der Zeit proportional sei (s. Beilage). So sind denn auch die Schwellenreize am Bauch, am Rücken, an den Unterextremitäten augenscheinlich unter denselben Bedingungen ermittelt, wie meine Reactionszeiten, d. h. unter der Bedingung einer relativ grösseren Reiz- und Wahrnehmungszeit. Der citirte Forscher, welchem es nicht um die Zeiten, sondern um die Reizstärken zu thun war, bestrebte sich offenbar, möglichst kleine Temperaturdifferenzen als eben merklich aufzufinden, auch wenn die Empfindungszeit dadurch verlängert würde. Angenommen, er hätte an einem Körpertheil eine Differenz von 1·0° als merklich gefunden, deren Empfindung nach 0·30 Secunden erfolgte, und dann später eine solche von 0·5°, deren Empfindung aber erst nach 0·50 Secunden eintrat, so hätte er, wie ich glaube, ohne Weiteres, da ihm die Zeit gleichgiltig war und sich so geringe Zeitunterschiede, wenn man nicht speciell darauf achtet, nicht besonders bemerklich machen, den letzten Werth angenommen. Das Verhältniss seiner Werthe zu seinen Reizzeiten ist daher ein solches, dass erstere als jedesmalige Minimal-, letztere als Maximalwerthe zu denken sind. Demgemäss werden wir es als ganz natürlich ansehen, wenn wir dort, wo Eulenburg grosse Schwellenreize angiebt, auch grosse Reactionszeiten finden. Es könnte scheinen, als ob wir uns in einem Cirkelschluss bewegten, wenn wir die Länge der Reactionszeiten jetzt als Basis nehmen, um darauf fussend eben dieselbe später wieder zu erklären. Jedoch wir gehen nicht von der Reactionszeit aus, sondern von derjenigen, während welcher der Temperaturreiz gewirkt hat, und fussen somit nicht auf den Versuchsresultaten, sondern auf den Versuchsbedingungen. Ein schnell vorübergehender Kältereiz kann recht wohl Kälteempfindung, ein schnell vorübergehender Wärmereiz aber nur selten eine deutliche Wärmeempfindung auslösen: denn es bedarf eben bei den letzteren einer längeren Reizdauer. Ich schliesse also hieraus, dass die Schwellenwerthe der Wärmeempfindungen an denjenigen Regionen, wo wir die sonst unerklärlichen grossen Zeiten erhalten hatten, entsprechend grösser sind als an anderen Regionen und grösser als die der Kälteempfindungen, ja, dass vielleicht ein durchgehender Unterschied zwischen den Schwellenwerthen beider Qualitäten der Temperaturempfindung vorhanden ist. Man könnte dieser Auffassung ent-

gegenhalten, dass nach den Eulenburg'schen Ermittelungen die Reizminima — Schwellenreize — für Kälte und Wärme sich im Allgemeinen nahezu gleich verhalten. Bei genauerer Betrachtung finden sich genau gleiche Werthe nur an 13 Prüfungsregionen, während bei 14 solchen die Schwellenreize für Wärme grösser, bei 15 kleiner als diejenigen für Kälte sind. Die Unterschiede sind freilich fast durchgehend nur sehr geringfügige und ich möchte ihnen deshalb keine erhebliche Bedeutung beimessen. Allein diese Uebereinstimmung der Kälte- und Wärmewerthe will nichts für den Schwellenwerth beweisen, weil dieselben unter der Bedingung der verschieden langen Reizdauer ermittelt worden sind. Demnach sind die Schwellenwerthe für Wärme vielfach grösser als es nach den Schwellenreizen scheint; dagegen dürfen wir für die Kälteempfindungen, bei welchen die Zeiten im Allgemeinen kurz sind, annehmen, dass die Grösse der Schwellenreize einen zutreffenden Maassstab für die Beurtheilung der wahren Schwellenwerthe bildet.

Es ist nun die Frage zu erledigen, in welchem Verhältniss der Schwellenwerth in unserer Bedeutung zur absoluten Empfindlichkeit steht. Wir haben uns vorzustellen, dass die Temperaturveränderung der Nervenendorganschicht, sobald ein kalter oder warmer Körper mit der Hautoberfläche in Berührung tritt, von Null an immer mehr wächst — die Schnelligkeit des Wachsens bleibe hier unberücksichtigt — und zwar von der Temperaturdifferenz zwischen Object und Haut und von der Zeit des Contactes — neben anderen Momenten — abhängig; sei es nun, dass die in der Schicht endigenden Temperaturnerven von Beginn an erregt werden, ihre Erregung aber erst bei einer gewissen Stärke wahrgenommen wird, oder sei es, dass dieselben erst bei einer gewissen Höhe der Temperaturveränderung in Erregung versetzt werden, jedenfalls muss die Veränderung eine gewisse Grenze erreichen, um eine merkliche Empfindung auszulösen und es ist wohl erlaubt anzunehmen, dass diesem Merklichwerden ein Stadium vorausgeht, in welchem die Empfindung undeutlich und diesem ein solches, in welchem sie noch unmerklich ist. Ich werde auf diese Vorstellung unten noch einmal zurückkommen und sie näher zu begründen versuchen. Nun wissen wir, dass zwei Hautstellen unter völliger Gleichheit aller Bedingungen, also auch bei gleicher Veränderung der Endorganschicht verschieden starke Empfindungen geben können, welche eben als der Ausdruck der ihnen beiwohnenden, local differenten, absoluten Empfindlichkeit aufzufassen sind. Auch bei schwacher Reizung treten diese Unterschiede hervor. An den mit stärkerer Empfindlichkeit begabten Hautstellen wird nun eine relativ kleinere Temperaturveränderung der Endorganschicht genügen, um die Empfindung aus dem Unmerklichen in's Merkliche übergehen zu lassen, als an derjenigen mit schwächerer Empfindlichkeit, eben weil bei gleicher

Veränderung beiderseits in jener eine deutlichere Empfindung entsteht als in dieser. Da aber die Grösse der Temperaturveränderung *ceteris paribus* von der Reizdauer abhängig ist, so wird an der empfindlicheren Stelle die Schwelle auch früher erreicht werden. Dies dürfte denn auch der wahre Grund für die Eingangs dargelegte Abhängigkeit der Reactionszeit von der Empfindlichkeit sein. Jede empfindlichere Stelle besitzt demnach einen kleineren Schwellenwerth und eine kürzere Schwellenzeit — auch dieser Ausdruck möge nur zur Verständigung hier erlaubt sein — als eine weniger empfindliche. Gänzlich unabhängig hiervon sind die oben besprochenen Verschiedenheiten des Schwellenwerthes und in Verbindung mit diesem der Schwellenzeit, welche von der jedesmaligen Körperregion bedingt sind. So finden wir für Kälte z. B. an der Stirn ein Reizminimum von 0·2°, — am Rücken, welcher viel empfindlicher ist, ein solches von 1·0°. An letzterem entsteht also durch einen Reiz von 0·2° auch nach noch so langer Zeit keine Kälteempfindung. Innerhalb einer bestimmten Region wird der Schwellenwerth je nach der localen Empfindlichkeit wechseln, und hierauf dürfte die Angabe von Eulenburg zu beziehen sein, dass die Reizminima an je einem Körperabschnitt Schwankungen zeigen, derart, dass die von ihm mitgetheilten Werthe Mittelwerthe aus grösseren Versuchsreihen darstellen.

Werfen wir unter Festhaltung des eben entwickelten Gesichtspunktes noch einmal einen Blick auf die ermittelten und vorher ausführlich besprochenen Werthe der Reactionszeiten!

Kältereize. Zwischen Gesicht und Arm hatten wir einen Zeitunterschied von circa 0.02 Secunden gefunden und auf die dem letzteren zugehörende grössere Leitungsbahn bezogen. Die zur Prüfung gelangten Gesichtstheile waren der äussere Augenwinkel und die Wange. Für letztere finden wir als Schwellenreiz 0·4° angegeben, für ersteren können wir wohl denjenigen des oberen Augenlides 0·3° annehmen. Beim Oberarm beträgt das Reizminimum 0·5°, an der Volarseite des Unterarms 0·4°. Hiermit könnte man es in Zusammenhang bringen, dass der Gesammtmittelwerth der Versuchsreihen an jenem 16·2, an diesem nur 15·2 betrug, obwohl die Empfindlichkeit des Oberarmes grösser ist als die des Unterarmes. Zwischen Wange und Unterarm besteht sonach ein Unterschied der Schwellenreize nicht; wir haben deshalb keinen Grund, die bei diesen beiden Regionen nachgewiesene Zeitdifferenz auf etwas anderes als auf die Leitungsbahn zu schieben. Der — übrigens nur vermuthungsweise angenommene — niedrigere Schwellenreiz 0·3° des Augenwinkels scheint von keinem merklichen ändernden Einfluss auf die Schwellenzeit zu sein, da die Reactionszeit sich von derjenigen der Wange nicht unterscheidet. Da-

gegen möchte ein solcher Einfluss in dem Verhältniss von Hohlhand zu Handrücken unverkennbar sein. Es war bereits früher hervorgehoben worden, dass der Mittelwerth des letzteren mit 17·2 sich von demjenigen der ersteren — 19.5 — sehr wenig unterscheide, was um so auffallender sei, als die Hohlhand nicht bloss eine dickere Oberhaut, sondern auch eine geringere Empfindlichkeit als der geprüfte Theil des Handrückens besitze. Wir finden nun zwar für den eigentlichen Handteller, an welchem ich die Reactionszeit prüfte, bei Eulenburg kein Reizminimum angegeben, können aber wohl das für die Hohlhandwülste der Finger ermittelte annehmen, welches 0·3° beträgt — gegen 0·3—0·4° des Handrückens. Dieser Unterschied ist so gering, dass er zu einer Aufstellung verschiedener Schwellenzeiten nicht genügt. Obwohl wir nun oben zu dem Schluss gelangt waren, dass bei der Kälteempfindung die Schwellenreize ein zutreffendes Kriterium der wahren Schwellenwerthe bilden, so ist doch, falls wir 0·3° als dem Handteller angehörig annehmen, dieser Werth offenbar unter der Bedingung einer auffallend kurzen Reizdauer gefunden und es ist daher vollkommen consequent, wenn wir dem Handteller einen kleineren Schwellenwerth zuschreiben als dem Handrücken. Dies wird übrigens sehr plausibel, wenn man bedenkt, dass die Eulenburg'schen Reizminima eine deutliche Beziehung zu dem jeweiligen Gebrauch des Oberflächenabschnittes, zur Uebung — wie schon erwähnt — erkennen lassen, und dass in dieser Hinsicht die Hohlhand doch auch bezüglich des Tastsinnes viel vor dem Handrücken voraus hat. Ferner ist es sehr leicht möglich, dass der Schwellenreiz des Handtellers doch kleiner als 0·3° ist, da die Hohlhandwülste, an welchen dieser Werth ermittelt worden ist, von schwächerer Empfindlichkeit sind, als der mittlere Theil der Hohlhand. Auch das früher, S. 453, hervorgehobene eigenthümliche Verhältniss der Unterarm- zu den Oberarmwerthen lässt sich in zwangloser Weise und übereinstimmend mit den Erfahrungen der Autoren über die Reactionszeiten des Tastsinnes dahin erklären, dass trotz grösserer absoluter Empfindlichkeit der Schwellenwerth am Oberarm grösser ist als am Unterarm, worauf der grössere Schwellenreiz: 0·5° zu 0.4° deutet.

An Bauch und Rücken hatte sich gegenüber dem Gesicht eine Zeitdifferenz von etwa 0·05 Secunde, gegenüber dem Arm von etwa 0·03 Secunde ergeben. Die Differenz der Mittelwerthe betrug zwar mehr, allein wegen grösserer Ungleichmässigkeit der in Frage kommenden Rumpfpartien wurden aus der Gruppirung die genannten Werthe erschlossen. Nach den Reizminima nun, welche für Epigastrium (Mitte) zu 1·0 bis 1·1°, für Rücken (seitlich) zu 0·9° angegeben sind, müssten wir einen grösseren Schwellenwerth und demgemäss eine Verlängerung der Schwellen- und somit auch der Reactionszeit erwarten. Zunächst ist nun zur Berichtigung zu bemerken, dass für die Seitentheile des Epigastriums keine

Werthe mitgetheilt sind, die obigen vielmehr nur für die weniger empfindliche Mitte (Stufe VI und VIII) gelten; für die seitliche Unterbauchgegend, welche bezüglich ihrer Empfindlichkeit dem seitlichen Epigastrium näher, wenn auch nicht ganz gleichkommt, giebt Eulenburg den Werth 0·8° an. Der Einfluss des zweifellos grösseren Schwellenwerthes wird nun, wie es scheint, durch die im Verhältniss zum Gesicht (Stufe VI—VII) und Arm (Stufe VI—IX) grössere Empfindlichkeit (Stufe IX—XII) aufgehoben. Dies dürfte jedenfalls, wenn es auch durch nichts zu beweisen ist, annehmbarer sein, als die für die Leitung ermittelte Zeitdifferenz von 0·05 Secunden zwischen den in Rede stehenden Partien einerseits und dem Gesicht andererseits noch für über Gebühr vergrössert zu erklären. In dieser Weise erklärt sich nun auch vielleicht die früher schon hervorgehobene mangelhafte Uebereinstimmung zwischen den Versuchsresultaten am Rumpf und an der unteren Extremität. Es hatte sich nämlich zwischen der letzteren und dem Gesicht eine Zeitdifferenz von 0·10 Secunde ergeben, welche einmal überhaupt und dann ganz besonders im Verhältniss zu derjenigen des Rumpfes — 0·05 Secunde — auffallend gross erschienen war. Eulenburg giebt nun für die Patellargegend 0·6—0.7° und für den untersten Abschnitt der vorderen Oberschenkelfläche 0·6° als Schwellenreize an. Nehmen wir diese Werthe auch für die innere Fläche des Oberschenkels und Kniees in Anspruch, so haben wir auf der einen Seite das Prüfungsgebiet des Gesichts von Stufe VI und VII mit den Reizminima 0.4° und 0.3° — auf der anderen Seite das der unteren Extremität von Stufe VII und VIII mit den Reizminima 0·6°—0·7°. Hier sind also die Schwellenreize grösser, die Empfindlichkeit aber theils gleich, theils nur um weniges grösser. Man kann daher recht wohl die Vermuthung hegen, dass der an der unteren Extremität grössere Schwellenwerth, wie er sich in dem grösseren Schwellenreiz documentirt, durch die nur wenig sich überhebende Empfindlichkeit seinen Einfluss auf die Zeit nicht völlig einbüsst, sondern eine Verlängerung der Schwellen- und Reactionszeit bedingt Besondere Erwähnung verdient an dieser Stelle die Versuchsreihe an der Fusssohle, deren Empfindlichkeit Stufe VII entspricht. Trotzdem ist ein auffallend grosser Mittelwerth gefunden worden, 49·7. Freilich ist die Hornschicht hier sehr stark (die Dicke der Oberhaut wird von Henle auf 1·7—2·8^{mm} angegeben), allein, wenn man erwägt, dass sie nur etwa doppelt so dick ist als an der Hohlhand, welche bei viel geringerer Empfindlichkeit einen erheblich kleineren Werth ergeben hatte, so wird man zweifelhaft, ob dies Moment die alleinige Ursache der späten Empfindung ist. Der Schwellenwerth nun ist für die Sohlenfläche des Fusses nicht ermittelt, wohl aber für die Gegend des inneren Fussrandes, wo er 0·6° — gegen 0·3° in der Hohlhand — beträgt.

Wärmereize. Bereits bei der Besprechung der einzelnen Versuchsresultate war, unter gleichzeitiger Hinweisung auf die jetzigen Ausführungen, bemerkt worden, dass der für die Stirn, dicht über der Glabella, eruirte Mittelwerth von 34.4 im Verhältniss zu demjenigen des Augenwinkels — 14·8 — auffallend klein erscheine, wenn man erwäge, dass letzterer eine Empfindlichkeit von Stufe VIII, erstere eine solche von Stufe III besitzt. Der Schwellenreiz für die betreffende Stirngegend nun beträgt 0.2° — für das obere Augenlid, welchen wir wieder in Gebrauch ziehen, 0·3°. Ein und derselbe Wärmereiz also erregt in einer und derselben Zeit am Augenwinkel eine stärkere Empfindung als an der Stirn, letztere aber vermag schon eine kleinere Veränderung der Endorganschicht als merklich aufzufassen als der Augenwinkel. Durch diesen Vortheil wird ihre Schwellenzeit und damit die Reactionszeit relativ verkürzt, und man kann annehmen, dass, wenn das Reizminimum an beiden Stellen gleich wäre, die Reactionszeit an der Stirn sich als grösser ergeben haben würde.

Bezüglich der Armwerthe war früher ausgeführt worden, dass die im Vergleich zum Auge geringere Empfindlichkeit der Prüfungsbezirke vollkommen genüge, um den gefundenen Zeitunterschied zu erklären, besonders mit Hinblick darauf, dass an der Schläfen- und Wangenpartie, deren Empfindlichkeit ungefähr derjenigen der Armpartien entspricht, ein gleich hoher Werth ermittelt werden konnte. Die Schwellenreize für die in Rede stehenden Regionen sind nun: Oberes Augenlid 0·3° — Wangengegend 0.4° — Vola des Unterarmes 0·3—0·4° — Oberarm 0.5°. Man sollte hiernach zunächst am Oberarm einen höheren Mittelwerth erwarten als am Unterarm, was sich aber nicht bestätigt findet. Wenn wir nun für die geprüfte Schläfen- und Wangenregion 0·4° annehmen — obwohl die Berechtigung hierzu noch angezweifelt werden könnte — so verhalten sich Unterarm und Gesicht bezüglich der Schwellenreize ungefähr gleich, nur dass derselbe bei ersterem noch unerheblich kleiner sein kann. Somit dürfte kein Grund sein, dem Unterarm einen wesentlich grösseren Schwellenwerth und grössere Schwellenzeit zuzuschreiben als den betreffenden Gesichtspartien. Der beiden gemeinschaftliche Zeitunterschied gegenüber dem Auge erklärt sich also nach wie vor durch die geringere Empfindlichkeit, und der — vielleicht lediglich durch die hervorragendere Empfindlichkeit bedingte — kleinere Schwellenwerth des Augenlides wirkt natürlich in derselben Richtung. Bezüglich des Verhältnisses der Hohlhand zum Handrücken u. s. w. ist auf das eben bei den Kältereizen Gesagte zurückzuverweisen.

Von viel mehr bestimmendem Einfluss scheint nun der Schwellenwerth bei den Rumpfpartien und der unteren Extremität zu sein. Als mittlerer Zeitunterschied zwischen dem unteren Rückentheil und dem

Auge hatte sich etwas weniger als 0·29 Secunde ergeben. Dieser erhebliche Zeitzuwachs, welcher auch bei den Eulenburg'schen Ermittelungen als Schwellenzeit gewirkt haben muss, kommt noch zu dem schon sehr erheblichen Schwellenreiz hinzu, welcher am Rücken (seitlich) zu 0·9—1·0°. am Epigastrium (Mitte) zu 0·9°, an der seitlichen Unterbauchgegend zu 0.8° angegeben wird, um den wahren Schwellenwerth hier als erheblich grösser im Verhältniss zu demjenigen des Auges erscheinen zu lassen. — Bezüglich der unteren Extremitäten waren wir unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit und nach Vergleichung mit den an Armregionen von entsprechender Empfindlichkeit gewonnenen Werthen zu dem Resultat gekommen, dass ein vorläufig nicht zu erklärender Zeitunterschied von circa 0·20 Secunden gegenüber dem Gesicht bestehe. Nun wird von Eulenburg als Reizminimum für den untersten Abschnitt der vorderen Oberschenkelfläche 0·5—0·6° angegeben und wir verwenden diesen Werth wieder für unsere Prüfungsregion. Damit tritt die letztere in ein eigenthümliches Verhältniss zur Prüfungsregion des Rückens: ihre Empfindlichkeit ist geringer, Stufe IV zu Stufe VIII, ihr Schwellenreiz aber kleiner, 0·5—0·6° zu 0·9—1·0°. Es wird also an ihr schon ein geringerer Empfindungszuwachs in's Bewusstsein treten als am Rücken, einmal weil ihr Schwellenreiz kleiner, dann, weil ausserdem noch ihre Empfindlichkeit geringer ist. Diese Befähigung würde nun noch grösser erscheinen, wenn dazu auch noch die Schwellenzeit kürzer wäre, als am Rücken. Sie erscheint nun, absolut genommen, grösser, allein, wenn man die verschiedene Empfindlichkeit berücksichtigt, in der That kürzer, denn der über die für die Kälteempfindung ermittelte Leitungszeit hinüberreichende und nicht zu erklärende Zeitbetrag war am Rücken gegen 0·24 Secunde; trotzdem die Leitungsbahn von demselben zum Gehirn doch nicht unbeträchtlich kürzer ist als von dem unteren Drittel des Oberschenkels und vom Knie her, und speciell doch die ganze Lendenanschwellung ausfällt. Sonach ist in Wirklichkeit, wie der Schwellenreiz, so auch die Schwellenzeit, somit auch der wahre Schwellenwerth an der unteren Extremität kleiner als am Rücken. — Bezüglich der Bauchreihen waren wir oben S. 468 zu dem Schlusse gelangt, dass der anscheinend der Rückenmarksleitung zufallende Betrag zwischen 20 und 35 gelegen sei, wobei diese beiden Werthe als äusserste Grenzen zu betrachten seien. In Anbetracht des grossen Schwellenreizes (Epigastrium Mitte 0·9°) werden wir auch diesen Zeitbetrag als durch den hochgelegenen Schwellenwerth bedingt ansehen können.

Man kann der vorstehenden Erörterung sehr leicht den Vorwurf machen, dass sie ein Moment in die Betrachtung einführt, welches ausserordentlich dehnbar ist. Sie gipfelt ja schliesslich darin, dass wir über den Schwellenwerth nichts wissen, dass derselbe überall verschieden ist, und schreibt alle

Zeitbeträge, welche anders nicht erklärt werden können, auf seine Rechnung, mit der Tendenz, die Leitungszeiten für die Wärmeempfindungen denjenigen für die Kälteempfindungen gleich zu machen. Allein wenn es überhaupt anerkannt wird, dass der Schwellenwerth in der hier gegebenen Bedeutung existirt und dass er einerseits von der Empfindlichkeit abhängt, andererseits gewisse topische Unterschiede zeigt, so muss auch zugegeben werden, da die Grösse der Veränderung der Endorganschicht sowohl durch die Reizstärke wie die Reizdauer bestimmt wird, dass Reiz und Zeit in einem gewissen, durch den Schwellenwerth näher bestimmten Verhältnisse stehen müssen.

Wenn nun der Schwellenwerth vorhanden ist und die Reizdauer bestimmt, so wirkt er damit auch auf die Reactionszeit bestimmend. Da nun Eulenburg's Versuche ebenfalls Reactionsversuche sind, nur dass die Frage sich nicht auf den Factor der Zeit, sondern auf den der Reizstärke richtete, so müssen auch bei ihnen die entsprechenden Verschiedenheiten der Reizdauer stattgefunden haben wie bei mir. Angenommen nun, es wollte jemand die zu den Schwellenreizen gehörige Schwellenzeit bestimmen, also feststellen, eine wie lange Zeit vergehen muss, bis die eben merkliche Temperaturdifferenz empfunden wird, so würde diese Frage, da Zeit und Reizstärke zusammengehörige Factoren sind, ebenso berechtigt sein wie diejenige, welche sich Eulenburg gestellt, und man würde keinen Anstoss nehmen dürfen, die ermittelte Zeit wirklich als Schwellenzeit anzunehmen. Mit demselben Recht kann man dann aber auch die mit maximalen Reizen eruirten Zeitunterschiede als solche der Reizdauer auffassen und in unserer Weise mit dem Schwellenwerth in Verbindung bringen — anstatt mit der Leitungsbahn. Die Willkür des Schwellenwerthes ist also nur eine scheinbare — ja es möchte viel willkürlicher sein, die für die physikalische Wärmebewegung doch überall wichtige Dauer des Wärmestromes ganz zu vernachlässigen und zwar zu Gunsten der ganz aussergewöhnlichen Annahme einer langsameren Fortleitung der einen Empfindungsqualität. Als ein weiterer, freilich auch nicht beweisender Grund kommt hinzu, dass der zweifellos bestehende Einfluss der Empfindlichkeit auf die Reactionszeit sich in plausibelster Weise erklärt, wenn man auf deu Schwellenwerth zurückgeht. Zwar ist ein solcher Einfluss auch beim Tastgefühl vorhanden, aber die Eingangs citirten Zahlenbeispiele zeigen, dass es sich hierbei um Zeitdifferenzen handelt, welche sich mit den hier mitgetheilten garnicht vergleichen lassen. Eine Einwirkung der Empfindlichkeit auf die Wahrnehmungszeit in diesem Umfange dürfte kaum anders verständlich sein, als wenn wir die Bedeutung der Zeit an den Betrag der physikalischen Veränderung der Endorganschicht, die Bedeutung der Empfindlichkeit aber an die Beziehung dieser physikalischen Veränderung zu der Bewusstseinsschwelle knüpfen.

Hier dürfte nun der Ort sein, eine Hypothese vorzutragen, welche freilich durch nichts gestützt wird als dadurch, dass sie ganz und gar in den Rahmen der eben angestellten Betrachtungen fällt. Ich finde, dass eine Wärmeempfindung einen schwächeren Eindruck auf das Sensorium macht als eine Kälteempfindung. Auch die reflectorischen Wirkungen der Kältereize sind ungleich stärker als die der Wärmereize, wie z. B. die Gänsehautbildung zeigt. Wärmeempfindungen sind, wenn sie nicht die Schmerzgrenze erreichen, selten mit dem Gefühl des Unangenehmen verbunden. Es giebt Hautstellen, an denen die Wärmeempfindung so schwach ist, dass man sich zunächst gar nicht darüber klar wird, ob überhaupt eine solche oder nur eine Druckempfindung vorliegt — was bei Kälteempfindungen nicht vorkommt. Man könnte vielleicht geradezu aufstellen, dass die Wärmeempfindung überhaupt einen schwächeren Empfindungsinhalt besitze als das Kältegefühl, wenn es nicht etwas missliches wäre, quantitative Vergleichungen zwischen zwei Qualitäten zu machen. Jedenfalls aber sind schwache Wärmeempfindungen undeutlicher und schwerer aufzufassen als schwache Kälteempfindungen. Nun hatten wir angenommen, dass bei jedem Wärmereiz die Endorganschicht eine Veränderung durchläuft, welche von Null anfangend eine gewisse Höhe erreicht und dass dieser entsprechend die Wärmeempfindung, unmerklich beginnend, wächst und bei einer gewissen Höhe merklich wird. Sie wird sonach zunächst immer als schwächste Wärmeempfindung in's Bewusstsein treten und ebenso die Kälteempfindung als schwächste Kälteempfindung. Sonach wird sich der eben besprochene Unterschied in der Deutlichkeit der beiderseitigen schwächsten Empfindungen jedesmal geltend machen. Man wird deshalb die Wärmeempfindung relativ mehr wachsen lassen, um sie merklich zu finden, als die Kälteempfindung; d. h. die Erwärmung der Nervenenden muss, um eine deutlich als solche zu erkennende Empfindung zu liefern, einen relativ höheren Grad erreichen als die Abkühlung — und hierzu dient eine längere Reizdauer. Eine Thatsache, welche mir für diese Auffassung zu sprechen scheint, ist das Anschwellen der Wärmeempfindung. Es ist früher gezeigt worden, welch erheblicher Zeitraum zwischen dem Merklichwerden der Empfindung und dem Maximum derselben vergeht. Bei schwachen Wärmeempfindungen ist, wie schon erwähnt, zuerst ein Stadium der Undeutlichkeit vorhanden, in welchem man nicht klar darüber ist, ob Wärmequalität vorliegt oder nicht; in anschwellendem Verlauf erhebt sich die Empfindung dann zum Merklichen. Es liegt wohl nahe genug, dies Anschwellen für das Empfindungscorrelat der wachsenden Veränderung der Endorganschicht anzusehen. Das Bewusstwerden dieser physikalischen Veränderung deutet darauf hin, dass dem jedesmaligen Zuwachs derselben noch ein Empfindungszuwachs entspricht, dass somit dem Maximum der

Empfindung eine höhere Stufe der Veränderung zu Grunde liegt als bei der Kälteempfindung, welche das Anschwellen gemeinhin nicht zeigt. Da nun die physikalische Veränderung der Endorganschicht bei Kälte- und Wärmereizen *ceteris paribus* sich gleich verhält (s. Beilage), auch die zum Maximum gediehene Wärmeempfindung keineswegs einen grösseren „Empfindungsinhalt" besitzt als die intensive Kälteempfindung, so müssen, wenn man sich die Veränderung jener Schicht als Abscisse und die Empfindungszuwachse als Ordinaten aufgetragen denkt, diejenigen der Wärmeempfindung je kleiner sein als die der Kälteempfindung. So ist bei einer gewissen Veränderung der Schicht die Kälteempfindung schon merklich, bei eben derselben — im umgekehrten Sinne — die Wärmeempfindung noch undeutlich. Ein ähnliches Anschwellen kann man nun auch bei Kälteempfindungen beobachten, sobald dieselben nur eine mässige Stärke haben, also an mässig empfindlichen Stellen; bei stark empfindlichen Stellen dagegen scheint die Empfindung gleich zum Maximum zu gelangen. Es entspricht sonach gleichen Etappen der physikalischen Veränderung dort ein geringerer, hier ein stärkerer Empfindungszuwachs, welcher schnell zu einer absoluten Höhe der Empfindung führt, bei welcher ein weiterer Zuwachs nicht mehr zur Geltung kommt. Die Wärmegefühle aber zeigen auch bei grösster Intensität das Anschwellen. Dies Verhältniss spricht gewiss für die Anschauung, dass die Wärmequalität einen geringeren „Empfindungsinhalt" besitzt und sich, in crasser Weise ausgedrückt, zur intensiven Kälteempfindung etwa verhält wie eine mässige Kälteempfindung. Was dieser Anschauung nun noch weiter günstig ist, das ist der Umstand, dass die Reactionszeiten der starken und schwachen Empfindungen bei Wärme sich erheblich anders zu einander verhalten als bei Kälte. Wir hatten früher gesehen, dass die Reactionszeit, sobald der Wärmereiz sehr schwach wird, relativ viel mehr wächst, als wenn der Kältereiz ebenso schwach wird, d. h. eben so viel unter der Hauttemperatur gelegen ist als jener oberhalb derselben:

Kältereiz { 15°: 27·8
30—29·5°: 39·9

Wärmereiz { 49·5°: 28·3
35°: 75·0

Ebenso nehmen die Reactionszeiten, wenn man gutempfindliche Stellen mit schwachempfindlichen vertauscht, bei Wärme relativ mehr zu als bei Kälte. Auch hierin documentirt sich wieder, dass eine schwache Wärmeempfindung undeutlicher und schwerer aufzufassen ist als eine schwache Kälteempfindung und dass deshalb die Reizdauer bei jener mehr verlängert werden muss.

Man könnte nun aber bezüglich des Anschwellens der Ansicht sein, dass dasselbe vielleicht gar nicht ein Correlat der wachsenden Veränderung der Endorganschicht sei; sondern etwa ein Phaenomen der Leitungsbahnen im Rückenmark oder der Centralapparate selbst und sich dabei darauf stützen, dass auch nach einem schnell vorübergehenden Reiz das Anschwellen stattfindet, derart, dass das Maximum der Empfindung erst auftritt, nachdem schon der Reiz abgesetzt ist. Allein die Vorgänge in der Endorganschicht überdauern nothwendig den Reiz, weil wegen der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit der Oberhaut der Ausgleich der Erwärmung langsam stattfindet und deshalb auch nach Entfernung des Reizes die zurückgelassene erwärmte Epidermisschicht noch weiter Wärme nach innen abgiebt. Das Anschwellen der Empfindung mit dem Vorgang der Erwärmung in der Endorganschicht in Zusammenhang zu bringen, hat deshalb viel für sich, weil letzterer ebenfalls ein Anwachsen zeigt.

Die in Rede stehende Erscheinung besitzt im Gebiete anderer Sinnesmodalitäten Analogien. Wir wissen durch Plateau, Brücke, A. Fick, Aubert, Exner, Kunkel, dass das Maximum einer Gesichtsempfindung erst eine gewisse Zeit nach Beginn des optischen Reizes stattfindet. Diese Zeit ist von der Intensität des Reizes abhängig (Exner); ein schwächerer Lichtreiz bedarf, um eine gleiche Erregung wie ein stärkerer auszulösen, einer längeren Wirkungszeit und da man voraussetzen darf, dass gleichen Empfindungen gleichstarke Erregungen des Nervenapparates zu Grunde liegen, so besteht eine bestimmte Beziehung der Erregung desselben zu Reizstärke und Reizdauer (Kunkel). Die fragliche Zeit ist ferner *ceteris paribus*, wie Kunkel gezeigt hat, für verschiedene Qualitäten der Lichtempfindung von verschiedener Grösse, und zwar für Roth am kleinsten, für Blau am grössten. Man könnte versucht sein, diese letztere Erscheinung ohne weiteres als ein analoges Factum zu dem unterschiedlichen Verhalten der Kälte- und Wärmeempfindung[1] anzusehen. Ich möchte jedoch hierin nicht zu weit gehen, da sich bei den von uns behandelten Sinnesqualitäten hauptsächlich ein Einfluss der Empfindungs-Intensität herausgestellt hatte, mit welcher die Hautstelle begabt ist. Die Annahme eines durchgehenden Unterschiedes im „Anklingen“ der peripherischen Nervenenden verschiedener Sinnesqualitäten wird deshalb nicht viel zur Erklärung unseres Phaenomens beitragen, besonders da die Einrichtung dieser Endigungen mit der localen Empfindlichkeit wenig zu thun haben dürfte. Viel dienlicher wird es sein, jene beim Auge nachgewiesene Be-

[1] Es möge hier bemerkt werden, dass auch die intensiven Kälteempfindungen wahrscheinlich einen anschwellenden Verlauf zeigen, nur mag dieser so steil geschehen, dass er sich nicht unmittelbar der Empfindung aufdrängt, sondern vielleicht erst durch eine besondere Versuchsanordnung nachweisbar sein würde.

ziehung der Erregungsstärke des Nervenapparates zu den beiden Factoren: Reiz und Zeit für den Temperatursinn weiter zu verwerthen.

Hier kann man nun die Frage aufwerfen, ob diese eigenthümliche Beziehung in der Art des Vorganges bei dem Umsatz der materiellen Bewegung in eine Nervenerregung begründet ist, oder eine Eigenschaft der letzteren selbst zum Ausdruck bringt. Ist letzteres der Fall, so möchte es — anscheinend — nicht nothwendig sein, dass die anschwellende Wärmeempfindung das Correlat einer steigenden Erwärmung der Endorganschicht ist, sondern nur der Ausdruck einer längeren Erregungsdauer. Ist ersteres der Fall, so würde der obigen Darstellung, wonach wir die wachsende Erwärmung der Endorganschicht, welche doch als der nervenerregende Vorgang zu betrachten ist, als solche fühlen, Genüge gethan.

Bezüglich der Schallreize hat Exner gezeigt, dass ein Ton von 128 Schwingungen (in der Secunde) die erste Spur einer als solchen erkennbaren Tonempfindung erzeugte, sobald 16·9, resp. 17·1 Schwingungen desselben in das Ohr gelangten. Die Empfindung wird hierauf lauter und erreicht — bei eben diesem Ton von 128 Schwingungen — ein Maximum nach ungefähr 48 Schwingungen. Durch Urbantschitsch wissen wir, dass schwache Stimmgabeltöne nicht sofort in ihrer ganzen Intensität empfunden werden, sondern dass es dazu einer gewissen Zeit bedarf, welche, ähnlich wie bei den Lichtreizen, von der Intensität des Schallreizes abhängig ist. Bei sehr schwachen Tönen „hört das Ohr den Ton im Beginne seiner Zuleitung gar nicht und erst nach einer, von der Schwäche des Tones abhängigen Zeit klingt derselbe zuerst leise und kurz darauf deutlich an. Zur Auslösung einer akustischen Empfindung sind in Fällen von minimaler Reizeinwirkung 1—2 Secunden, ja sogar noch darüber, erforderlich."[1] Hier ist die Analogie zu den Temperaturempfindungen insofern noch befriedigender, als nicht bloss für das Maximum, sondern auch für den Beginn der Empfindung eine gewisse Reizdauer erforderlich ist. Wie bei dem Auge kann man auch hier die Frage nach dem eigentlichen Grunde von der Bedeutung der Reizdauer stellen; jedoch liegt es, für die Exner'sche Feststellung wenigstens, nach seiner eigenen Auslegung klar genug, dass es sich um die Reizübertragung handelt, d. h. dass eine gewisse Anzahl von Schwingungen nothwendig ist, um die Lamellen des Corti'schen Organs in ein zur Nervenerregung genügendes Mitschwingen zu versetzen. Die Beobachtungen von Urbantschitsch deuten insofern darauf, dass ausserdem noch eine Eigenschaft des Nervenapparates, resp. psychophysischen Processes möglicher Weise mitspielt, als er gefunden hat, dass bei manchen Schwerhörigen

[1] Victor Urbantschitsch, Ueber das An- und Abklingen acustischer Empfindungen. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XXV. S. 324.

unter Umständen die Empfindung erst beginnt, nachdem der Schallreiz aufgehört hat.

Aehnliches lässt sich auch beim Gefühlssinn beobachten. Wenn man mit einem spitzigen Gegenstand gegen die Haut, am besten den Handteller, einen leichten schnellen Stoss ausführt, so bemerkt man sehr deutlich, dass die erste Druckempfindung nach einer sehr kurzen Zeit von einer stärkeren stechenden Empfindung, etwas schmerzlichen Charakters, gefolgt ist. Die Berührung darf nicht ganz schwach sein; wird sie aber zu stark, so wird die Erscheinung wieder undeutlich, indem dann der erste Eindruck so lange anhält, dass der zweite verdeckt wird. Dieses Phaenomen ist nicht mit dem, was man als Nachempfindung bezeichnet, zu verwechseln. Man hat bekanntlich unter pathologischen Verhältnissen — Tabes dorsalis — eine zeitliche Incongruenz zwischen Berührungs- und Schmerzempfindung gefunden. Es scheint, dass dieselbe schon physiologisch, wenn auch nicht so ausgesprochen, zu constatiren ist. Ich meine, dass man sich mit dieser Erscheinung nicht einfach dahin abfinden kann, dass man sie in ein anderes Leitungsgebiet, nämlich das der grauen Substanz des Rückenmarks, verweist. Denn einmal braucht diese zweite Empfindung durchaus nicht schon wirklicher Schmerz zu sein. Ferner folgt sie, selbst wenn sie schmerzhaft ist, nicht immer dem Reiz so geraume Zeit nach, sondern zeigt dieselbe zeitliche Beziehung zur Reizstärke wie das Maximum der Gesichts- und Gehörsempfindung und erfolgt bei starkem Reize anscheinend momentan. Es handelt sich demnach wahrscheinlich um den zu einem Maximum angewachsenen Gefühlseindruck. Dieser Vorgang nun erfolgt thatsächlich unabhängig von der Reizdauer, denn man kann leicht beobachten, dass die zweite Empfindung bei momentanem Reiz erst nach Entfernung desselben auftritt, ebensogut wie bei dauerndem Reiz. Die Durchsichtigkeit dieses Phaenomens leidet jedoch dadurch, dass die erste Berührungsempfindung sich nicht stetig bis zu diesem Maximum erhebt, sondern zunächst schnell abklingt, um dann jene zweite Empfindung auftauchen zu lassen. Ich muss hierbei noch einmal hervorheben, dass es sich bestimmt nicht um eine oscillirende Nachempfindung handelt, wie schon daraus hervorgeht, dass dieselbe deutlich als stärker, sowie auch qualitativ anders gefärbt erscheint als die erste Berührungsempfindung. Man könnte aus dem geschilderten Verhalten vielmehr eventuell eine Stütze für die Ansicht von der gesonderten Existenz centraler Apparate für die allgemeinen Gefühlsnerven einerseits und specifische Drucknerven andererseits entnehmen, derart, dass den letzteren das Maximum der Empfindung, den ersteren die anfängliche, schnell abklingende Berührungsempfindung zukommt. Für diese Anschauung würde sprechen, dass das beregte Verhalten am deutlichsten an „Druckpunkten“ und an sehr tastempfindlichen Hautbezirken ist; man wird ferner annehmen dürfen, dass

dieser mechanische Reiz stark genug ist, um unter Umständen auch ausserhalb der Druckpunkte, d. h. der Nervenendigungen die in der Haut verlaufenden Drucknerven zu erregen.

Die besprochenen an anderen Sinnesmodalitäten gemachten Erfahrungen lehren somit, dass der Erregungszustand des percipirenden Nervenapparates neben anderem eine Function von Reizstärke und Zeit oder mindestens von beiden abhängig ist, wobei bezüglich der Zeit noch zu unterscheiden ist: die Zeit der Reizwirkung und die Zeit der Reiznachwirkung. Wir dürfen diese Erfahrungen auf die Temperaturnerven anwenden und umkehrend schliessen, dass dort, wo die Schwelle oder das Maximum der Empfindung erst nach längerer Zeit erreicht wird, auch ein höherer Erregungszustand vorliegt. Sonach bedarf es an wenig empfindlichen Stellen eines höheren Erregungszustandes, um die Schwelle der Empfindung zu erreichen, und sonach bei den Wärmenerven zumeist eines höheren Erregungszustandes als bei den Kältenerven. Ich hatte nun schon die Frage berührt, ob die Steigerung der Erregung durch die Reizdauer der Reizübertragung selbst oder der Nerventhätigkeit als solcher zukomme. Die Frage geht noch tiefer, denn man kann es bezweifeln, ob es sich überhaupt um eine Steigerung des Erregungszustandes handelt und nicht vielmehr bloss um eine Steigerung der Empfindung durch Andauer gleicher Erregung. Ich urgire dies, um einem Einwand bezüglich der Analogie des Anklingens der Temperaturempfindungen mit dieser Erscheinung bei den anderen Sinnesmodalitäten zu begegnen. Bei den Temperaturreizen scheint nämlich die Sache auf den ersten Blick ganz klar so zu liegen, dass die Erwärmung resp. Abkühlung der Endorganschicht während der Reizdauer beständig wächst und man könnte somit das Anschwellen der Empfindung einfach als dem physikalischen Process entsprechend hinstellen. So hatte ich es auch bisher dargestellt und gesagt, dass wohl jedem Zuwachs an Erwärmung ein Erregungs- und Empfindungszuwachs entspreche und dass auf diese Weise der Betrag der Empfindung ein Correlat des Betrages der Erwärmung (resp. Abkühlung) sei. Ich hatte diese Vorstellung für die Erörterung des Schwellenwerthes und die sich daran anschliessende Interpretation der Reactionszeitwerthe festgehalten, weil sie ziemlich allgemein gefasst ist und nichts praejudicirt. Allein es hatte sich doch dabei schon gezeigt, dass der physikalische Process für sich noch nicht das Anschwellen der Empfindung erklären könne, weil bei völliger Gleichheit aller physikalischer Bedingungen dasselbe nicht bloss in verschiedenem Grade auftreten, sondern auch ganz fehlen können. Ich möchte nun jetzt eine Vorstellung einführen, welche gewissermaassen die Brücke zu den übrigen Sinnesmodalitäten schlagen und zeigen soll, dass die Verhältnisse der peripherischen Erregung ähnliche sind. Es sprechen nämlich, wie ich schon früher nachgewiesen habe, gewichtige

Gründe dafür, dass die Temperaturnerven nicht durch die absolute Höhe ihrer Eigentemperatur, sondern lediglich durch die Veränderung derselben erregt werden. Man könnte dagegen anführen, dass man unter Umständen bei einem dauernd applicirten Temperaturreiz recht lange Zeit hindurch ein Temperaturgefühl haben kann. Allein wir wissen nicht, nach welcher Zeit die Nervenendorganschicht die Temperatur des Reizes annimmt; jedenfalls handelt es sich aber um sehr lange Zeiten. Wirkt nun ein Wärmereiz ein, so werden die Wärmenerven so lange erregt, als die Temperatur der empfindlichen Schicht wirklich steigt, werden es aber nicht mehr, wenn dieselbe bei irgend einer Höhe constant bleibt. Gleichmässiges Wachsen der Temperatur der Haut bedeutet daher an und für sich nicht Wachsen der Erregung, sondern Gleichbleiben derselben. Der physikalische Process giebt uns demnach keine unmittelbare Erklärung für das Wachsen der Empfindung und das letztere dürfte zur Dauer des Reizes in einem ganz ähnlichen physiologischen Verhältniss stehen, wie das Wachsen der Lichtempfindung zur Reizdauer. Es handelt sich somit um analoge Erscheinungen.

Ergebnisse bei schwachen Empfindungen.

Eine weitere Stütze für die von mir entwickelte Anschauung von der Beziehung des Schwellenwerthes zur Reizstärke und Reizdauer, sowie für das Verhältniss desselben zur Empfindlichkeit und Empfindungsintensität erwächst aus den Versuchen an schwachempfindlichen Gebieten in Verbindung mit den Versuchen mit schwachen Reizen an gutempfindlichen Gebieten.

Kältereize. Am untersten Theil der inneren Oberarmfläche (Stufe IX und VIII) wurden Reactionsversuche mit der in Wasser von 30° C. temperirten und dann schnell mit Fliesspapier abgetrockneten Kugel gemacht, wobei sich aus zwei Reihen die Mittelwerthe 38·0 und 40·0 ergaben. Es ist von Interesse, hiermit andere Versuchsreihen zu vergleichen, welche an Nase, Dorsum des Unterarms, Fingerspitzen mit der auf 15° abgekühlten Kugel gewonnen wurden. An der Nase, deren Empfindlichkeit Stufe II und III entspricht, stellte sich als Durchschnittswerth 30·4 heraus. Die Empfindung war, der geringen Empfindlichkeit entsprechend, schwach und ebenso am Oberarm, aber hier durch den schwachen Reiz von 30°. Bei diesem letzteren könnte man die lange Reactionszeit lediglich vom physikalischen Vorgang herleiten, insofern, als die Abkühlung der empfindlichen Schicht durch die Temperaturdifferenz zwischen Reiz und Haut bestimmt wird. Bei der Nase dagegen unterscheidet sich der physikalische Process durch nichts von demjenigen bei den intensiv empfindlichen Stellen.

Sollen wir hier annehmen, dass die Nervenenden schwerer erregbar sind oder dass die schwache Empfindung langsamer geleitet wird? Am Arm nun ist es klar, dass wir gegenüber starken Reizen längerer Reizdauer bedürfen, um mit der verringerten Temperaturdifferenz den Schwellenwerth zu erreichen — ebenso bedürfen wir an der Nase grösserer Zeit, um den Schwellenwerth zu erreichen, welcher höher liegt, als an gut empfindlichen Stellen, weil der gleichen Abkühlung der Endorganschicht an der Nase ein so schwaches Empfindungscorrelat entspricht, dass zum Merklichwerden derselben eben eine relativ grössere Abkühlung erforderlich ist. — Empfindungen von mässiger Stärke repraesentiren die Oberarmreihen mit den Mittelwerthen 29·0 und 27·9, welche an der ebengenannten Region mit der in Wasser von 24° gekühlten Kugel gewonnen wurden, sowie eine Reihe mit dem Mittelwerth 24·4, bei welcher die Kugeltemperatur ca. 20° betragen hatte. — Die Versuche an der Rückenfläche des Unterarmes haben gut übereinstimmende, aber auffallend hohe Mittelwerthe ergeben — 53·0—53·2. Dies ist dadurch begründet, dass die Dorsalseite des Unterarms — welche übrigens vor Anstellung der Versuche rasirt worden war — ausserordentlich viele, sehr schlecht empfindliche Stellen besitzt, wovon man sich leicht überführen kann. Es zeigt sich dies auch in der bedeutenden Verstreuung der Werthe, unter denen gerade die den Durchschnittswerthen entsprechenden selten vorkommen. Bemerkenswerth ist, dass der Schwellenreiz — an der unteren Hälfte — nur 0·3—0·4° beträgt. Noch grösser ist der Mittelwerth von der Reihe der Fingerspitzen: 57·5, deren Empfindlichkeit Stufe I und II entspricht. Hier kommt zur schwachen Empfindlichkeit noch die dicke Hornschicht hinzu; dass die an den Fingern niedrigere Eigentemperatur der Haut dabei eine nennenswerthe Rolle spielt, möchte ich bezweifeln. Sehr deutlich ist der Unterschied gegen die eben besprochenen Unterarmreihen bezüglich der Schwankungen der Einzelwerthe. — Bemerkenswerth ist wieder das Verhältniss der Hohlhand zum Handrücken. Letzterer, im Spatium interosseum, Stufe VI, ergab in der einen Versuchsreihe mit der Kugel von 24° den Mittelwerth 32·0, in der andern mit der Kugel von 30° 47·6. Wenn man die beiden Versuchsreihen mit einander vergleicht, so erkennt man unschwer, wie die Schwankungen der Einzelwerthe mit dem schwächeren Reiz zunehmen. Die Hohlhand ergab bei Stufe IV, mit der Kugel von 30° den Mittelwerth 42·6. Trotz der dickeren Hornschicht also und der geringeren Empfindlichkeit ist derselbe kleiner als am Handrücken. Nicht ganz ohne Einfluss möchte der Umstand sein, dass wegen der hohlen Form der Palmarfläche die Kugel sich besser anlegt und wegen der Derbheit und geringen Verschieblichkeit der Haut die Anlagerung eine innigere ist, allein man dürfte doch kaum den Zeitunterschied völlig erklären können, wenn man nicht,

wie oben, den Schwellenwerth der Hohlhand als kleiner annimmt. Mit unseren Zeitwerthen scheint in einem gewissen Widerspruch eine Erfahrung von E. H. Weber zu stehen, welche ich vollkommen bestätigen kann. Derselbe führt nämlich als Beispiel für den Einfluss der Oberhautdicke an, dass, wenn man die Hand in kaltes Wasser taucht, man zuerst am Handrücken eine Kälteempfindung habe, worauf dann, während diese nachlasse, nach acht Secunden in der Hohlhand ein wachsendes Kältegefühl sich einstelle. Ich glaube, dass der Widerspruch sich dadurch löst, dass es bei diesem Versuch sich in Wahrheit nicht um den Beginn der Empfindung handelt, sondern um eine Vergleichung der Intensitäten; das Kältegefühl imponirt zuerst als das stärkere, und während es nachlässt, dasjenige in der Hohlhand aber anschwillt (s. oben), wird letzteres jetzt das stärkere. Für diese Auffassung scheint mir auch die Angabe Weber's: „nach acht Secunden“ zu sprechen.

Am äusseren Augenwinkel wurde noch eine Versuchsreihe mit mässigem Kältereiz (Kugel in Wasser von 20° gekühlt, übrigens ungefähr der Lufttemperatur entsprechend) angestellt, welcher schon oben Erwähnung gethan wurde; sie ergab als durchschnittlichen Zeitwerth 19·7. Nicht ohne Interesse ist die Vergleichung der an der Handgelenkvola angestellten Versuchsreihe mit derjenigen vom Spatium inteross. prim. des Handrückens. Die erstgenannte Gegend, welche bezüglich ihrer Empfindlichkeit der IV. Stufe entspricht, ergab bei starkem Kältereiz als Mittelwerth 26·3 — die letztgenannte, von Stufe VI, bei gleichem Reiz 16·2. Vergleicht man nun die Gruppirung der Werthe in beiden Reihen, so zeigt sich, dass die Verschiebung der niedrigsten Werthe etwa den Umfang einer Gruppe hat, dass aber ausserdem die Einzelwerthe an der weniger empfindlichen Handgelenkvola grössere Schwankungen darbieten. So setzt sich denn die Differenz der beiderseitigen Mittelwerthe von 10·1 aus zwei Beträgen zusammen, von denen der eine einer constanten Verlängerung der Reactionszeit durch die Minderempfindlichkeit, der andere den mit letzterer gewöhnlich zugleich einhergehenden grösseren Schwankungen der Werthe entspricht. — Von der hinteren Fläche der Wade, Stufe V, wurde der Mittelwerth 33·1 gewonnen. Man könnte darüber streiten, in weit es berechtigt sei, ihn nicht mit den am Oberschenkel, Knie und an der inneren oberen Wadenfläche ermittelten Werthen zusammenzustellen, da er sich nur unerheblich von letzteren unterscheidet, allein ich habe geglaubt, um so mehr das Princip gleich empfindlicher Stellen hier aufrecht erhalten zu müssen, als schon an den genannten Partien eine Ungleichmässigkeit in dieser Beziehung hervorgetreten war und somit die Gefahr vorlag, zu grosse Durchschnittswerthe zu bekommen. — Das am Bauch mit einem Reiz von 30° gewonnene Resultat von 42·6 erscheint auffallend klein im Verhältniss zu

den Werthen 40·0 vom Oberarm und 44·2 von der Hohlhand, bei welcher die Reizstärke dieselbe gewesen war, da einmal die längere Rückenmarksleitung und dann der grössere Schwellenwerth in Betracht kommt; die Erklärung dürfte auch hier in der grösseren Empfindlichkeit zu suchen sein.

Es haben sich also an schwach kälteempfindlichen Regionen Werthe ergeben, welche an Grösse nicht hinter denjenigen für die Wärmeempfindung zurückbleiben, in Uebereinstimmung mit den Eingangs mitgetheilten Versuchen an verschieden empfindlichen kugelgrossen Stellen. Wenn wir vorhin bemerkt hatten, dass mässige Kälteempfindungen die Erscheinung des Anschwellens zeigen, so wird diese Analogie mit der Wärmeempfindung nun durch den ähnlich grossen Zeitbetrag noch vervollkommnet und zwar zu Gunsten unserer Vermuthung von dem allgemein geringeren Empfindungsinhalt der Wärmequalität.

Wärmereize. Bei den Wärmereizen ergaben die schwach empfindlichen Stellen noch erheblich höhere Werthe. Man vergleiche den an der Nase, deren Empfindlichkeit Stufe I und II entspricht, erhobenen Mittelwerth 51·3 mit den früheren Augenwerthen. Hier kann es sich doch gewiss nicht um langsamere Leitung, sondern nur um den Einfluss des Schwellenwerthes handeln. Wenn derselbe nun so bedeutende Zeitdifferenzen hervorbringen kann, so bin ich gewiss nicht zu weit gegangen, wenn ich ihm die grossen Werthe vom Rumpf und der unteren Extremität zuschob. — Auffallend gross erscheinen wieder die Werthe von der Dorsalfläche des Unterarmes, Stufe III, 90·8 und 92·7, dessen Schwellenreiz — aber nur für die untere Hälfte — Eulenburg auf 0·2° angiebt. Sie werden nur um wenig überragt von den Mittelwerthen der Fingerspitzen, Stufe I, 95·6 und der Wade, Stufe III und II, 108·8, während der am Daumen- und Kleinfingerballen ermittelte Werth ihnen ungefähr gleichkommt. Die hohen Werthe des Unterarms erklären sich auch hier wieder dadurch, dass eine grosse Zahl der Stellen durchaus nicht der Stufe III entsprechen, sondern weniger empfindlich sind. Aehnlich verhält es sich an der Umbilicalgegend, zu deren enormen Zeitwerthen offenbar nun auch noch der grössere Schwellenwerth beigetragen hat. An der Fusssohle vereinigt sich sehr geringe Wärmeempfindlichkeit, sehr dicke Oberhaut und ein wahrscheinlich nicht unbedeutender Schwellenwerth, denn wir dürfen wohl den für den inneren Fussrand angegebenen Schwellenreiz 0·6—0·7° in dieser Hinsicht verwenden, da für die Sohlenfläche ein solcher nicht ermittelt ist. Es bietet sich ebenfalls wieder, wie bei den Kältereizen, Gelegenheit, mit diesen stark gereizten aber schwach empfindlichen Partien eine solche von guter Empfindlichkeit bei schwacher Reizung bezüglich der Zeiten vergleichen zu können; denn von dem unteren Theil der inneren Oberarmfläche, Stufe VI, wurden in zwei Reihen die Mittel-

werthe 99·1 und 104·4 erhoben. Man kann an diese hohen Werthe dieselbe Betrachtung knüpfen, wie vorhin bei den Kältereizen. — Noch auffallender wie oben ist das Verhältniss der Hohlhand zum Handrücken: 76·3 zu 110·7. — Ich möchte übrigens nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass Exner bei schwachen Tastreizen ebenfalls grössere und schlecht übereinstimmende Zahlenwerthe gefunden hat.

Resumé.

Die allgemeinen Sätze, zu welchen ich in der vorangegangenen Discussion des Zahlenmaterials gelangt bin, dürften hiernach etwa folgendermaassen zu fassen sein:

1. Die sehr erheblichen Verschiedenheiten der Reactionszeiten der Temperaturempfindungen sind hauptsächlich solche der Reizdauer. Durch dieses bestimmende Moment unterscheidet sich die Analyse der Reactionszeit sehr wesentlich von derjenigen bei anderen Sinnesmodalitäten.

2. Die Reizdauer und somit auch die Länge der Reactionszeiten wird durch den Schwellenwerth der Empfindung bestimmt.

3. Der Schwellenwerth ist einmal von der Empfindlichkeit, ferner von gewissen örtlichen Verhältnissen abhängig.

4. Der Schwellenwerth der Wärmeempfindungen ist im Allgemeinen grösser als derjenige der Kälteempfindungen.

5. Es ist kein Grund vorhanden, für die Leitungszeit der Temperaturempfindungen in den peripheren Nervenbahnen oder in der Rückenmarksbahn einen grösseren oder geringeren Betrag anzunehmen als für diejenige der Tastempfindungen. Ebenso wenig, die Leitungszeit der Wärmeempfindungen für grösser, als die der Kälteempfindungen zu erachten.

Ich habe schliesslich noch hervorzuheben, dass ich sehr wohl die Schwäche erkenne, welche meine Beweisführung dadurch besitzt, dass ich auf Zahlenwerthe zurückgegriffen habe, welche ein Anderer an sich festgestellt hat, und diese in Zusammenhang mit denjenigen gebracht habe, welche ich an mir ermittelt hatte. Es ist kein Zweifel, dass es vollkommener wäre, wenn ich die Schwellenreize ebenfalls an mir und zwar an den Prüfungsregionen der Reactionszeiten bestimmt hätte. Jedoch möchte ich darauf hinweisen, dass Eulenburg's Zahlen jedenfalls mehr als eine blos individuelle Bedeutung besitzen, wie schon daraus hervorgeht, dass sie sich in der Mehrzahl mit Nothnagel's Werthen decken und es wohl noch mehr thun würden, wenn die Fragestellung in den beiderseitigen

Untersuchungen nicht eine abweichende gewesen wäre. Ausserdem benutzte ich ja meist, und ganz speciell in der Hauptsache, nämlich bei dem unterschiedlichen Schwellenwerth der Wärme- von dem der Kälteempfindungen, nur ungefähre Anhaltspunkte von Seiten der Reizmaxima.

Nach diesen Ergebnissen kann ich nun auch die Vermuthung Herzen's, welcher meint, dass die Erregungen der Wärmenerven langsamer geleitet werden und daraus schliesst, dass sie im Rückenmark die Bahn der grauen Substanz einschlagen, während die Erregungen der Kältenerven durch die Hinterstränge geleitet werden, nicht beistimmen. Ich hatte schon früher in dieser Frage geltend gemacht, dass, wenn diese Ansicht richtig wäre, wir bei der Tabes sehr gewöhnlich eine Herabsetzung der Kälteempfindlichkeit bei intacter oder wenig gestörter Wärmeempfindlichkeit finden würden, was doch nicht der Fall ist. Ich habe nun bei Topinard einen älteren Fall von Tabes vorgefunden, in welchem gerade das Gegentheil statthatte.[1] In seiner *Observ.* Nr. 202 spricht Topinard von einem Tabiker, welcher sehr ataktisch und sehr anaesthetisch war und bei vollständig erhaltenem Kältegefühl das Wärmegefühl vollkommen verloren hatte. Der erfahrene Autor setzt hinzu: „J'ai revu une autre fois le même fait, mais moins net."

Ist die Oberhaut diatherman?

Anschliessend an die nunmehr erledigte Beweisführung möchte ich noch einen Punkt besprechen, welcher an und für sich vielleicht überflüssig ist, jedoch mit Rücksicht auf eine gewisse anderweitige Publication, und zwar eine solche von hervorragender Bedeutung, mir der Beleuchtung nothwendig erscheint. In seiner Abhandlung: „*Untersuchungen über die Wärmestrahlung des menschlichen Körpers*"[2] behauptet nämlich der Verfasser, Hr. Masje aus Mohilew in Russland, dass die Oberhaut diatherman sei und führt hierfür eine Beobachtung an, welche ich mit dem Wortlaut des Verf. gebe, S. 278: „Dass die Epidermis des lebenden Menschen wirklich diatherman ist, beweist die Thatsche, dass wir die von einer höher temperirten Wärmequelle aus unserer Umgebung kommenden Wärmestrahlen sofort empfinden, sobald wir unseren Körper denselben aussetzen. Wäre die Epidermis atherman, so müsste gerade wie bei Berührung heisser Körper eine gewisse Zeit verstreichen, bis die von der Epidermis absorbirte Wärme den im Corium endigenden Gefühlsnerven durch Leitung mitgetheilt würde, da ja die Epidermis ein schlechter Wärmeleiter ist." Er benutzt nun die vermeintliche Diathermanität zum Aufbau einer Theorie, welche die von ihm ermittelte, höchst bemerkenswerthe

---

[1] Topinard, *De l'ataxie locomotrice.* Paris 1864. p. 190 ff.

[2] Virchow's *Archiv.* 1887. Bd. CVII. S. 17.

Thatsache erklären soll, dass nach hautabkühlenden Eingriffen bis zu einer gewissen Grenze die Wärmeausstrahlung der Haut nicht abnimmt, wie man es wegen der verminderten Temperaturdifferenz nach Analogie der leblosen Körper erwarten sollte, sondern zunimmt. Er folgert nämlich nun, dass die Cutis selbst durch die Oberhaut hindurch Wärme ausstrahlt, und meint, dass bei Kälteeinwirkung durch die Contraction der glatten Hautmuskeln in der Cutis ein dem Ritzen der Oberfläche eines leblosen Körpers ähnlicher Vorgang Platz greife. Es müsse dadurch ebenso wie durch das Ritzen eine gesteigerte Wärmeausstrahlung bewirkt werden. Weiterhin nimmt er noch eine chemisch moleculare Veränderung des Gewebes durch die Kältewirkung an, derart, dass das Strahlungsvermögen derselben gesteigert wird. Es ist nicht der Zweck dieser Abhandlung, die Theorie von Masje einer Kritik zu unterziehen. Ich möchte nur die Bemerkung einstreuen, dass er vielleicht besser thäte, sich auf die letztgenannte Annahme zu beschränken, da abgesehen von der zweifelhaften Diathermanität die Analogie mit dem Ritzen bedenklich erscheint. Denn wir wissen doch, dass es sich dabei in der Hauptsache um ein Aufdecken tieferer Schichten bei harter Oberfläche handelt, während bei weichen Metallen Eindrücke im Gegentheil die obersten Schichten verdichten und demgemäss auch eine Verminderung der Ausstrahlung bewirken. Mit diesem letzteren Vorgang dürfte aber bei der Contraction der Hautmuskeln eine grössere Analogie bestehen als mit dem ersteren. Ich bin nun vor Allem gezwungen, die von ihm aufgeworfene Frage der Diathermanität der Oberhaut hier zu ventiliren, weil, wenn letztere wirklich diatherman ist, auch bei meiner Versuchsanordnung, d. h. bei berührender Kugel, zunächst gar nicht die geleitete, sondern die strahlende Wärme in Wirkung treten würde, welche ohne Zeitverlust die Oberhaut durchsetzen und also merklich früher die Nervenenden erreichen würde, als jene. Letztere würde dann nach mehr oder minder kurzer Zeit nachhinken und es würde ein ganz anderes Verhältniss entstehen, als es von mir angenommen und zur Voraussetzung für meine Anschauung vom Schwellenwerth gemacht worden war. Hierbei fällt nun schon auf, dass Masje's Vorstellung gar nicht folgerichtig gedacht ist; denn wenn er sagt, dass man strahlende Wärme schneller wahrnimmt, als die Wärme berührender heisser Körper, so ist nicht einzusehen, weshalb letztere nicht ebenfalls durch die diathermane Epidermis hindurch Wärmestrahlen senden sollen. Es wäre ferner die Eigenschaft der Diathermanität bei einem so eiweissreichen Gewebe gegen die sonstigen diesbezüglichen Erfahrungen, und wenn man allenfalls sie sich von dem Stratum corneum noch vorstellen könnte, so ist es doch unwahrscheinlich, dass die Schleimschicht sich in dieser Beziehung anders verhalten sollte als das Cutisgewebe. Ferner spricht dagegen, dass

wenn man ein warmes Object in die Nähe der Haut bringt, die eintretende Wärmeempfindung, falls überhaupt eine vorhanden ist, doch unvergleichlich schwächer ist als diejenige, welche beim Berühren der Haut erfolgt. Nach Masje's Vorstellung, consequent durchgeführt, bestände aber der Unterschied nur darin, dass beim Berühren die theilweise Reflexion der Wärmestrahlen von der Hautoberfläche wegfällt und dass zur strahlenden noch die leitende Wärme hinzutritt. Bezüglich der letzteren weist er aber selbst auf das von Klug ermittelte schlechte Wärmeleitungsvermögen der Oberhaut hin, während doch diese „äusserst diathermane" Schicht die Strahlen ungeschwächt passiren lassen müsste. Ich habe es jedoch noch für nothwendig gehalten, auch experimentell die Voraussetzung des Autors zu prüfen, freilich nur mittelst eines sehr einfachen und mehr improvisirten Apparates, welcher jedoch, wie ich glaube, zu der einfachen Lösung der Frage genügte. Als Wärmequelle wurde unsere, über einer Gasflamme erhitzte Kugel benutzt. Unmittelbar vor derselben befand sich ein dicker Pappschirm, welcher auf der der Kugel abgewandten (vorderen) Seite mit Watte beklebt war, während die hintere vor den Versuchen und auch während derselben mit Wasser benetzt wurde. In dem Schirm war, der Kugel nach Grösse und Lage entsprechend, eine kreisrunde Oeffnung angebracht. Während die von dem früheren Apparat abgeschraubte Kugel an einem dicken langen Metalldraht von einem festen Stativ herabhing, wurde die Holzscheibe mit dem Winkelhebel vor dem Pappschirm befestigt. Der senkrechte Arm des Hebels trug anstatt der früheren Kugel einen kleinen Blechschirm, derart, dass, wenn der letztere gerade die Oeffnung in dem Pappschirm verdeckte, der wagerechte Theil des Hebelarms erhoben war und nach oben an einen eigens angebrachten Metallcontact stiess. Liess man diesen noch durch ein Gewicht beschwerten Arm fallen, so bewegte sich der Schirm von der Oeffnung weg, welche in demselben Moment völlig frei wurde, wo jener die Platinspitze erreichte. Der Blechschirm wurde in der Anfangsstellung, d. h. so, dass er die Oeffnung verdeckte, dadurch gehalten, dass ein Anderer den Hebelarm nach oben gegen den Contact drückte. Zu den Versuchen wurde die linke Hand benutzt, welche in einer bestimmten Entfernung vor der durch den Schirm verschlossenen Oeffnung auf die radiale oder ulnare Seite gelagert wurde, je nachdem der Handrücken oder die Hohlhand der Wärmequelle zugewandt werden sollte. Die Augen wurden geschlossen. Der Moment, in welchem der erhobene Arm des Winkelhebels zu fallen begann, wurde durch Unterbrechung eines Stromes, welche durch die Lösung des Contactes herbeigeführt wurde, die beginnende Empfindung wie früher mittels eines Beisscontactes signalisirt. Die Abhaltung der Wärmestrahlen durch die Pappwand ist zwar principiell gewiss eine sehr unvollkommene, allein bei der kurzen Dauer

eines Versuches und da nur immer einige in einer Sitzung wegen der leicht eintretenden Ermüdung der Hautnerven und der Veränderung der Hauttemperatur gemacht werden konnten und bei der beständigen Anfeuchtung genügte diese Anordnung, um ein merkliches Wärmegefühl während der Pausen völlig zu verhindern. Man könnte ferner beanstanden, dass in Folge der successiven Freilegung der Oeffnung die einzelnen Partien der Haut zu verschiedener Zeit den Wärmestrahlen exponirt wurden. Die Zeit, welche vom Beginn des Fallens des Hebelarmes bis zur völligen Freilegung der Oeffnung verging, wurde besonders gemessen. Sie betrug im Mittel 0·125 Secunden mit sehr unbedeutenden Schwankungen. Nach dieser Zeit aber war ein grosser Bezirk, etwa die ganze Hohlhand resp. der ganze Handrücken, bestrahlt, während ein kugelgrosses Stück der Hautoberfläche, also wie bei den Versuchen mit berührender Kugel, schon nach ganz unerheblicher Frist von den Wärmestrahlen getroffen werden musste.

Zunächst wurde nun die von Masje angeführte Beobachtung geprüft. Hierbei ergab sich, dass die Wärme unter den angegebenen Bedingungen keineswegs früher wahrgenommen wurde als in den Versuchen mit berührender Kugel. Bei den ersten Versuchsreihen wurde die Kugel nur soweit erwärmt, dass ein schwaches Wärmegefühl in der Hand entstand. Hierbei ergab sich für den Handteller eine durchschnittliche Reactionszeit von 72·9 — die Einheit bildet wieder 0·01 Secunde —, in einer anderen Reihe sogar 98·5, für den Handrücken 61·3. Ein auffallend schnelles Wahrnehmen der strahlenden Wärme ist also nicht vorhanden, vielmehr bewegen sich die Zahlen ungefähr in der Höhe wie die für schwache berührende Wärmereize gefundenen. Weiterhin nun wurde die Möglichkeit einer genaueren Vergleichung beider Reizarten angestrebt. Die Kugel wurde nämlich stärker, bis zur dunklen Rothglut, erhitzt und ihre Temperatur so erhalten, dass ein in 7 cm Entfernung von ihr aufgestelltes, mit Russ geschwärztes, Thermometer sich in der Höhe von 41·0 bis 41·5°C. hielt. Dies liess sich durch eine geeignete Aufstellung des Brenners, so dass die mässigstarke Flamme die Kugel nur tangential traf, erreichen. Die Hand wurde dann der Oeffnung so gegenübergestellt, dass die Haut des Handrückens resp. der Hohlhand sich ebenfalls in circa 7 cm Entfernung von der Kugel befand. Die erwärmende Wirkung der Strahlen wird unter dieser Bedingung ungefähr gleichzusetzen sein derjenigen einer Kugel von 41—41·5°, welche ihre Strahlen unmittelbar von der Hautoberfläche aus gegen die Cutis sendet, — wenn wir von dem Unterschiede in der Grösse der bestrahlten Fläche absehen und der Vorstellung folgen, als wirke auch die berührende Kugel durch ihre Wärmestrahlen auf die Nervenenden. Der hierbei erhaltene Mittelwerth betrug nun für die Hohlhand 76·4 — also ungefähr eben so viel als der mittels der berührenden Kugel von 34° ermittelte

Werth (s. Tabelle VII). Für den radialen Theil des Handrückens, welcher das früher geprüfte Spatium interosseum prim. in sich fasst, wurde allerdings der Werth 76·1 ermittelt. Man kann also jedenfalls nicht sagen, dass die strahlende Wärme auffallend schnell empfunden wird. Vielmehr sprechen diese Versuchsergebnisse eher dafür, dass auch die strahlende Wärme zunächst nur die obersten Schichten der Oberhaut erwärmt und dass von hier aus sich die Wärme durch Leitung fortpflanzt. Möglicher Weise erscheinen die Werthe für die Hohlhand hierbei allerdings gegenüber denen der berührenden Kugel vergrössert, weil das Moment der festeren Anlagerung und deshalb besseren Wärmeaustausches der strahlenden Wärme abgeht. Dadurch erklärt sich auch vielleicht das veränderte Verhältniss der Hohlhand- zu den Handrückenversuchen.

Die Frage der Diathermanität ist aber damit nicht erledigt, dass die von Masje angezogene Beobachtung nicht zutrifft, denn es könnte ja auch der berührende Wärmereiz eben durch Strahlung wirken. Es wurde deshalb folgender Weg eingeschlagen. In die Oberfläche der Haut wurde eine dichte Russschicht eingerieben. Vorausgesetzt nun, dass die Oberhaut diatherman ist, so wird die Russschicht die Wärmestrahlen absorbiren und sich dabei erwärmen und, sobald sie eine höhere Temperatur als die Cutis-Oberfläche angenommen hat, gegen diese einen Theil der absorbirten Wärme wieder aussenden. Dadurch wird ein erheblicher Zeitaufenthalt gesetzt werden, und wenn dem auch zum Theil der Umstand entgegenwirkt, dass die Reflexion der Strahlen geringer sein wird, somit die Russschicht sich schneller erwärmt als die nackte oberste Hautschicht, so muss doch entschieden die Einfügung einer adiathermanen Schicht die Zeit merklich verlängern. Ist dagegen die Oberhaut adiatherman, werden also von den Wärmestrahlen nur die obersten Schichten getroffen, von welchen aus die Wärme sich durch Leitung weiter nach innen fortpflanzt, so wird durch die Russschicht zunächst ein neues Leitungshinderniss gesetzt. Dasselbe dürfte aber sehr wenig ausmachen, weil eine nennenswerthe Verdickung der Oberhaut nicht erfolgt, der Russ vielmehr hauptsächlich in die Unebenheiten und Furchen der Hautoberfläche sich hineinsetzt und das Relief derselben gewissermaassen nivellirt. Diese Störung wird reichlich ausgeglichen werden durch die grosse Absorptionsfähigkeit des Russes. Die Versuchsanordnung war genau so wie oben beschrieben. Es ergab sich am unberussten Handteller der schon vorhin vorgreifend erwähnte Mittelwerth 76·4, am berussten Handteller 65·5 und nach noch weiterer Verstärkung der Russschicht 63·1. An einem anderen Tage, als die Kugeltemperatur nicht nach dem Thermometer constant erhalten wurde, sondern bloss eine gleiche Empfindungsstärke in den beiderseitigen Versuchsreihen herbeigeführt wurde, ergab sich für den unberussten Handteller 69·7 —

für den berussten 57·2. Uebrigens wurde die Berührung der warmen Kugel an der berussten Fläche keineswegs als schwächer, eher als stärker warm empfunden — für den Fall, dass die Oberhaut adiatherman ist, ein Zeichen, dass jedenfalls ein nennenswerthes Leitungshinderniss durch die Russschicht nicht gesetzt wird. Die bei diesen Versuchen gefundenen Reactionszeitwerthe scheinen mir in unzweifelhafter Weise dagegen zu sprechen, dass die Oberhaut diatherman ist. — Ein weiterer Beweis erwächst aus Versuchen, welche zu einem anderen Zwecke angestellt wurden und nachher ausführlicher zu schildern sind. Es wurde dabei die Reactionszeit von einer und derselben Hautstelle einmal in ihrem natürlichen Zustande und weiter nach mechanischer Verdünnung der Oberhaut bestimmt und es ergab sich, dass unter diesen Umständen der Wärmereiz erheblich schneller percipirt wurde. Wäre die Epidermis diatherman, so würde die künstliche Verdünnung keinen merklichen Zeitunterschied bedingen.

Ueber das Verhalten der Temperatur in der Schicht der Nervenendigungen.

Ich kann es mir nicht versagen, hier anhangsweise eine Betrachtung über die Vorgänge in der Nervenendorganschicht bei Temperaturreizen, soweit wir denselben nachgehen können, beizufügen. Wir hatten gesehen, dass für den Schwellenwerth der Betrag der Erwärmung resp. Abkühlung, — bleiben wir im Folgenden bei der Erwärmung — der empfindlichen Schicht maassgebend ist, was nach einer oben durchgeführten Vorstellung identisch ist mit Stärke und Dauer der Erregung der Temperaturnerven. Es ist nun ein, wie ich meine, noch nicht in Angriff genommenes Problem zu ermitteln, wie gross dieser Betrag ist resp. wie er sich zu der Intensität und Dauer des äusseren Temperaturreizes verhält. Die Schwellenwerthe der äusseren Temperaturreize geben uns noch keinen Begriff von den wirklichen Schwellenwerthen in der Hautschicht, wo sich die Nervenenden ausbreiten. Das Problem ist ein ähnliches wie etwa die Umrechnung der räumlichen Unterschiedsempfindlichkeit für Sehreize auf die Zahl der Retinaendigungen. Sicher sind die Temperaturveränderungen in der fraglichen Schicht relativ geringe, denn dieselbe ist von der Wärmequelle durch eine Membran von sehr schlechtem Wärmeleitungsvermögen geschieden. Eine Lösung der Frage könnte durch directe Beobachtung der Temperatur-Vorgänge im Stratum papillare gedacht werden. Ein anderer Weg wäre es, die in Betracht kommenden physikalischen Eigenschaften der Oberhaut — ich nehme die betreffende Schicht als an der Grenze zwischen Cutis und Oberhaut liegend an — für sich zu bestimmen und den fraglichen Betrag sodann durch Rechnung zu ermitteln. Es handelt sich ausser der

Dicke derselben um ihre Wärmeleitungsfähigkeit (k), ihre specifische Wärme und Dichtigkeit. Die Wärmeleitung der Haut ist nun zwar schon vielfach besprochen worden, aber fast ausschliesslich mit Rücksicht auf die Wärmeabgabe des Körpers, daher auch das hauptsächliche Interesse sich immer dem Ausstrahlungsvermögen zuwandte. Eine physikalische Untersuchung der Haut bezüglich ihres Leitungsvermögens wurde von Klug[1] angestellt, aber eine gesonderte Prüfung der Oberhaut resp. der Hornschicht derselben nicht vorgenommen. Immerhin geht jedoch aus seinen Untersuchungen hervor, dass das Wärmeleitungsvermögen der Oberhaut schlechter ist als dasjenige der Lederhaut.[2] Dies bleibt bestehen, auch wenn ich gegen die Gültigkeit seiner absoluten Werthe Bedenken habe. Klug stellte zwei gleiche Glasgefässe mit den Oeffnungen an einander, während die aufwärts gerichteten Flächen je eine mit einem Pfropf verschlossene Durchbohrung trugen, durch welche je ein Thermometer bis in die Mitte des Inneren des Gefässes ragte. Die Oeffnungen erhielten je eine Verschlussmembran von Pericard; die Gefässe selbst wurden mit Quecksilber gefüllt. Das eine derselben wurde noch in eine grössere Kapsel von Pappe geschlossen, deren Innenraum mit Wolle ausgefüllt war. Es wurde nun das nicht umkleidete Gefäss erwärmt und diesem sodann, Oeffnung an Oeffnung, das mit der Kapsel versehene gegenübergestellt, nachdem zwischen die beiden Membranen das zu untersuchende Hautstück gelegt war. Nun wurde beobachtet, um wie viel das Thermometer des zweiten Gefässes innerhalb einer Minute stieg und daraus berechnet, wie viele Calorien in dieser Zeit durch die Haut hindurchgegangen waren. Es lässt sich gegen diese Versuchsanordnung einwenden, dass das Wärmeleitungsvermögen der Pericardmembran nicht genügend berücksichtigt ist. Klug führt nicht an, wie der Thermometerstand in dem zweiten Gefäss ohne Einfügung des Hautstückes nach einer Minute sich verhalten hat. Ich glaube deshalb annehmen zu dürfen, dass die von ihm angegebenen Werthe im Allgemeinen zu klein sind. Hierzu kommt vielleicht noch ein — nicht der Versuchsanordnung als solcher zur Last zu legender — Umstand: dass nämlich möglicher Weise die Wärmeleitungsfähigkeit des lebenden Gewebes besser ist als die des todten. Der Werth k für einzelne Schichten, speciell für die Oberhaut, lässt sich aus seinen Ergebnissen nicht berechnen, da die Schichten der Haut nicht für sich, sondern nur in je verschiedenen Com-

[1] Untersuchungen über die Wärmeleitung der Haut. *Zeitschrift für Biologie.* 1874. Bd. X. S. 73.

[2] Landois hat die Wärmeleitungsfähigkeit der verschiedenen Gewebe untersucht und findet die der Haut ebenfalls relativ gering, besonders der blutlosen Haut. Numerische Werthe giebt der genannte Forscher nicht an.

binationen geprüft wurden. Es ist nun gerade für meinen Zweck sehr interessant, die Ablesungen des Thermometers selbst in's Auge zu fassen, welche der Autor nicht angiebt, welche sich jedoch aus seinen Angaben der Calorien durch Rückrechnung leicht ermitteln lassen. So muss — nach meiner Rechnung — bei einem anfänglich vorhandenen Temperaturunterschied von 18·1° C. und Einfügung eines Stückes Haut von der Handfläche, bestehend aus 0.1 cm Cutis und 0·2 cm Epidermis das zweite Thermometer in einer Minute um 0·3° C. gestiegen sein. Man erwäge, mit Rücksicht darauf, dass die Epidermis thatsächlich schlechter leitet als die Cutis, um welchen winzigen Betrag die Temperatur der empfindlichen Schicht, bei demselben Temperaturunterschied, innerhalb 0·01—0·07 Secunden (s. unten) steigen müsste — wenn diese Zahlen richtig wären. Eine rechnerische Verwendung derselben möchte sich daher nicht empfehlen.

Ich habe geglaubt, auf einem anderen Wege, auch ohne Kenntniss der physikalischen Constanten, wenigstens zu einem ungefähren Urtheil über den dem Schwellenwerth entsprechenden Betrag der Erwärmung der Endorganschicht gelangen zu können. Ich setzte voraus, dass an einer und derselben Hautstelle die Schwelle des Wärmeschmerzes constant sei, d. h. dass, um Schmerz zu erzeugen, immer der gleiche Betrag der Erwärmung nothwendig sei. Wenn man nun weiter diesen Betrag ermitteln könnte, so wäre man in der Lage, aus den verschiedenen Zeiten, welche ein und derselbe Wärmereiz gebraucht, um Wärmeempfindung und Wärmeschmerz zu erzeugen, auf den der Wärmeempfindungsschwelle entsprechenden Betrag zu schliessen.

An einer umgrenzten, kugelgrossen Stelle des linken Daumenballens erzeugte die auf 50° erwärmte Kugel im Mittel nach 2·54 Secunden Reizdauer Schmerz. Es wurde nun dort eine Schicht der Oberhaut vorsichtig mechanisch entfernt, indem mit der Lanzette parallel zur Oberfläche eingegangen wurde, wobei weder Schmerz noch Blutung entstand. Die abgelöste Schicht erwies sich, mit einem Tasterzirkel, welcher Zehntel von Millimetern ablesen lässt, gemessen als von 0·3 mm Dicke. Jetzt erregte die Kugel schon bei 42° Schmerz, allerdings erst nach 3·67 Secunden im Mittel. Da anzunehmender Weise wohl noch etwa 0·6 mm Oberhaut vorhanden waren, so ist die Temperatur der empfindlichen Schicht gewiss auch unter diesen Umständen noch weit unter der Reiztemperatur geblieben; aber es geht daraus hervor, wie sehr die Wirkung der äusseren Temperaturreize durch die Oberhaut abgeschwächt wird und um wie viel geringer die in der empfindlichen Schicht vorgehenden Temperaturschwankungen sind als die Differenzen der Temperaturreize. An derselben „enthornten“ Stelle erregte die Kugel bei 46° nach 2·31 — bei 50° nach

1·61 Secunden in der einen Reihe, nach 1·32 Secunden in der anderen Reihe Schmerz.

An der Rückenfläche des Vorderarms wurde eine kugelgrosse Stelle enthornt, so das der Grund röthlich und hier und da ein Blutpünktchen sichtbar war. Hier erregte die erwärmte Kugel schon bei 40° im Mittel nach 7·19 Secunden eine Spur schmerzlichen Gefühles, bei 40·5° in der einen Reihe nach 2·71 Secunden — in der anderen nach 3·47 Secunden Wärmeschmerz; bei 41° nach 2·13 Secunden. In der Umgebung dieser Stelle dagegen, auf intacter Haut, entstand bei 54° erst nach 2·13 Secunden Wärmeschmerz. Man darf annehmen, dass bei diesem Versuche der Wärmereiz in grösster Nähe der empfindlichen Schicht applicirt wurde. Dieselbe könnte demnach wohl nach 7 Secunden die Temperatur der Kugel ganz oder annähernd erreicht haben und wir würden somit schon bei einer Erwärmung der Nervenenden auf höchstens 40° zur Schmerzgrenze gelangt sein. Freilich könnte man einwenden, dass durch die Entfernung eine Hyperalgesie hervorgerufen sei, derart, dass nun schon eine geringere Erwärmung als unter normalen Verhältnissen Schmerz erzeuge. Jedoch spricht hiergegen, dass gleichzeitig Berührung und Druck an den betreffenden Stellen keinen Schmerz erzeugten, sowie auch spontan kein Schmerz vorhanden war. Allerdings möchte ich dies noch nicht als durchaus eine Hyperalgesie ausschliessend ansehen. Unmittelbar nach dem Ablösen der Hornschicht bis in grössere Tiefe ist oft eine Herabsetzung der Sensibilität vorhanden. In diesem Stadium ist dann auch jene Schmerzwirkung noch nicht zu constatiren und wenn man die Stelle jetzt wieder mit der alten Hornhaut fest bedeckt, so zeigt sich auch die frühere Schmerzschwelle hinaufgerückt. Nach Ablauf dieses — nicht immer vorhandenen — Stadiums erst ist jene eben zahlenmässig belegte Schmerzempfindlichkeit nachweisbar. Es könnte also allenfalls der herabgesetzten eine gesteigerte Empfindlichkeit gefolgt sein. Weiterhin stellt sich dann gelegentlich eine gesteigerte Empfindlichkeit auf Druck ein, welche jedoch nicht bis zum Schmerzhaften geht, sondern nur eine besonders lebhafte Druckempfindung verursacht. Auch dies braucht nicht nothwendig eine Hyperalgesie zu bedeuten, sondern kann auf den Ausfall der Hornhaut bezogen werden. Obwohl ich es nicht entscheiden kann, so erscheint es mir doch am plausibelsten, dass die Verringerung der Schmerzschwelle nicht ein Zeichen von Hyperalgesie, sondern lediglich einfache Folge des Ausfalles einer schlechtleitenden Schicht ist. Uebrigens bemerke ich, dass schon nach mehreren Reizen die Sensibilität herabgesetzt ist, wodurch die Bestimmung der Schmerzschwelle unsicher wird. Eine gewisse Stütze erhält meine Ansicht durch folgendes: An der linken Zeigefingerbeere erregte die auf 52° erwärmte Kugel im Mittel nach 17·61 Secunden Schmerz; nach Entfernung einer

0·3 mm dicken Hornschicht aber genügten hierzu schon 2·25 Secunden im Mittel. Hierbei stand noch soviel Oberhaut, dass von einer Insultirung der Nerven und von Hyperalgesie nicht die Rede sein konnte. Die Leitungsfähigkeit gerade des derben Stratum corneum wird durch diesen Versuch als sehr schlecht hingestellt. Unter diesen Umständen aber wird es recht denkbar, dass die Erwärmung der Endorganschicht am Daumenballen bei einer Reiztemperatur von 50° nach 2·54 Secunden in der That nicht grösser ist als im enthornten Zustande bei Reiz 42° nach 3·67 Secunden — und am Vorderarm bei Reiz 54° nach 2·13 Secunden nicht grösser als im enthornten Zustande bei Reiz 41° nach der gleichen Zeit.

Ich hoffte nun auf folgendem Wege weiter zu kommen: Am linken Daumenballen wurde eine feine Insectennadel durch die Haut geführt, derart, dass sie unter der Oberhaut wegging und einen oberflächlichen Theil der Cutis streifte oder durchbohrte, so dass etwas Schmerz entstand und eine Spur Blut heraussickerte. Ich machte die Voraussetzung, dass beim Eintauchen der Hand in warmes Wasser die Nadel sehr schnell und ziemlich vollständig die Temperatur des Wassers annehmen und den anliegenden Hautschichten mittheilen würde.

Es ergab sich nun folgendes:

Temperatur des Wassers		Gefühl
beim Eintauchen	beim Herausnehmen	
40·3	40·0	Eine Spur Schmerz.
40·6	40·0	Schwacher Schmerz.
41·0	40·6	Deutlicher Schmerz.
40·8	40·5	Deutlicher Schmerz.
40·6	40·4	Schwacher Schmerz.
40·1	39·7	Ganz leichte Gefühlssensation (nicht Schmerz).
39·9	39·5	Ganz leichte Gefühlssensation (nicht Schmerz).
39·0	38·5	Eben merkliche Sensation.
38·1	37·8	Unsicher, ob etwas gefühlt wird.
42·8	42·5	Schon etwas lebhafterer Schmerz.
43·5	43·3	Noch etwas stärkerer Schmerz.

Bei Berührungsreizen in der Umgebung der Nadel war keine besondere Empfindlichkeit zu constatiren. Direct auf derselben allerdings sind schon leichte Berührungen empfindlich, wenn auch nicht schmerzhaft.

Nach einer einhalbstündigen Pause und nachdem die Nadel im Ganzen über eine Stunde in der Haut gesteckt hat, welche etwas torpide geworden ist, ergab eine erneute Prüfung folgendes:

Temperatur des Wassers		Gefühl
beim Eintauchen	beim Herausnehmen	
40·0	39·6	Nichts gefühlt.
41·5	41·3	Deutlicher Schmerz.
40·8	40·5	Leichter Schmerz.
40·0	39·5	Nach längerer Zeit eben merkliche, nicht schmerzhafte Sensation.
39·2	39·0	Eben merkliche Sensation.
38·2	37·8	Nichts gefühlt.
40·7	40·3	Eben merkliche Sensation.
43·0	42·6	Etwas lebhafterer Schmerz.

Des Weiteren zeigt sich die Sensibilität der Hautstelle entschieden abgestumpft. Nach Entfernung der Nadel besteht eine unangenehm ziehende Sensation. Eintauchen in verschieden temperirtes Wasser verursacht bis zu 39° herunter an der wunden Stelle eine Sensation, welche jedoch auch über 42° noch nicht schmerzhaft ist. Berührungen sind in den ersten Minuten nach der Entfernung der Nadel etwas empfindlich.

Man sollte meinen, dass eine durch die Verwundung und den Nadeldruck hervorgerufene Hyperalgesie sich darin hätte äussern müssen, dass schon der blosse Druck der Nadel gegen die anliegenden Hauttheile einen beständigen Schmerz erregte. Jedoch löste die ruhende Nadel gar keinen Schmerz aus und die Empfindlichkeit über der Nadel könnte man auch ohne Hyperalgesie durch den Druck gegen die harte Unterlage erklären. Dennoch lässt sich auch hier nicht abweisen, dass möglicher Weise eine Hyperalgesie gegen Wärmereize bestanden habe. Dass die mit der Erwärmung der Nadel einhergehende Ausdehnung derselben durch Druck gegen die Haut den Schmerz erzeugt habe, ist bei dem feinen Kaliber der Nadel nicht anzunehmen.

Handelt es sich aber nicht um Hyperalgesie, so geht aus den Versuchen hervor, dass schon bei der Erwärmung des Hautinneren auf 40—41° Schmerz zu Stande kommen kann, und es ist immerhin bemerkenswerth, dass bei zwei verschiedenartigen mechanischen Eingriffen sich derselbe Grenzwerth ergeben hat.

Wenn wir nun einmal die Erwärmung auf 40° als den fraglichen Betrag der Schmerzschwelle annehmen wollen und auf den Vorderarmversuch zurückgreifen, so fanden wir dort, dass ein Reiz von 54° nach 2·13 Secunden bei einer Oberhautdicke, welche etwa 0·2 mm betragen wird, Schmerz erzeugte oder vielmehr nach höchstens 2 Secunden Reizdauer, denn der Werth 2·13 enthält zugleich auch die Reaction; die Eigentemperatur der empfindlichen Schicht kennen wir nicht, doch dürfte sie

nicht viel grösser als 34° sein, da ich die Temperatur nach Entfernung der Hornschicht zu 33·8° fand. Darnach wäre die Temperatur in dieser Schicht bei einem um 20° höheren Reiz in 2 Secunden um ca. 6° gestiegen. Zu ähnlichen Ergebnissen führt es, wenn man die Betrachtung auf den Daumenballen ausdehnt. Eine derartig gute Wärmeleitungsfähigkeit der Oberhaut ist jedoch höchst unwahrscheinlich. Ich entnehme daraus, dass ein bestimmter Betrag der Erwärmung, bei welchem Schmerz eintritt, überhaupt nicht existirt. Wahrscheinlich handelt es sich auch hier um die beiden Factoren: Stärke der Reizung und Dauer derselben. An den meisten Hautstellen pflegt ein Reiz von 50—52° nach kurzer Zeit Schmerz zu erregen, während ein Reiz von 45° auch nach noch so langer Zeit dies nicht thut. Dass bei ersterem während einer Reizdauer von zwei Secunden und weniger die Temperatur der Endorganschicht auch nicht annähernd auf 45° steigt, dürfte nach Obigem zweifellos sein. Bei unendlich langer Berührung der Wärmequelle von 45° wird die Erwärmung mindestens eine ebenso grosse sein, als dort in zwei Secunden. Also die absolute Erwärmung ist nicht maassgebend, sondern mindestens auch die Geschwindigkeit derselben, wie wir es auch von der nervenreizenden Wirkung von differenten Temperaturen bei Thieren wissen. Ist aber die Veränderung der Temperatur das Erregende, so bedeutet Schnelligkeit der Veränderung — Stärke der Erregung. Die Beziehung der Zeit bedarf keines Nachweises. Um ein schematisches Beispiel zu geben, so scheint das Verhältniss so zu liegen: es wirke ein starker Wärmereiz ein, bei welchem die Temperatur der Endorganschicht in 0·5 Secunden von 34° auf 35° steigt, so kann hierbei in dieser Zeit schon Schmerz empfunden werden; es wirke ein anderer Wärmereiz ein, bei welchem dieselbe in 0·5 Secunden von 34° auf 34·3° steige, so kann bei dauerndem Reiz die Temperatur schliesslich einen viel höheren Grad als 35° erreichen, ohne dass Schmerz ausgelöst wird.

Jene Voraussetzung, dass der Schmerzschwelle an derselben Stelle je derselbe Betrag der Erwärmung entspreche, ist also nicht zutreffend und demgemäss können wir auch die Schmerzschwelle nicht zum Ausgangspunkt für eine Bestimmung des Schwellenwerthes der Erregung der Wärmenerven machen. Ich wollte jedoch die Beifügung dieser Versuche der Sache selbst willen nicht unterlassen. Denn immerhin, wenn wir auch zu irgend welchen bestimmten Werthen nicht gelangen, bleibt es doch bestehen, dass die Veränderungen der empfindlichen Schicht selbst bei schmerzhaften Erregungen relativ geringfügige sind — wenn es sich nicht in den obigen Versuchen um hyperalgetische Zustände handelte. Eine Stütze nun für die Anschauung, dass dies nicht der Fall ist, erwächst aus der Thatsache, dass auch unter natürlichen Verhältnissen an manchen Körperstellen die Wärme-Schmerzschwelle sehr niedrig liegt. Ich könnte mich hierbei einfach auf die

Donath'schen[1] Untersuchungen berufen, bei welchen die zur Erzeugung von Wärmeschmerz hinreichende Reiztemperatur an einzelnen Stellen sogar bis zu 36·3° herab gefunden wurde. Allein die überhaupt auffallend niedrigen Werthe von Donath scheinen mir nicht ganz frei von Bedenken zu sein. Sein Thermalgimeter besteht aus einem Thermometer, dessen Quecksilbergefäss mit einem durch Wasserglas angeklebten Platindraht umwickelt ist, welcher durch einen elektrischen Strom erhitzt wird. Auf die Haut wird das mit Draht bekleidete Gefäss gesetzt. Die Hautoberfläche liegt demnach für die Wärmequelle jedenfalls günstiger, als das Quecksilber des Gefässes, welches durch Glas und Wasserglas von ihr geschieden ist. Es erscheint mir danach zweifelhaft, ob in allen Fällen in demselben Moment, wo Schmerz gefühlt wird, der Quecksilberstand schon die richtige Drahttemperatur angiebt, und da der Strom im Augenblick der Schmerzempfindung geöffnet wird und der Draht nun erkaltet, so möchte auch ein nachträgliches Steigen des Quecksilbers nicht ganz correct ausfallen. Ich habe wenigstens an meinem Körper mit Benutzung der erwärmten Kugel mich von so niedrigen Schmerzschwellen nicht überzeugen können, wenn auch zweifellos bedeutende individuelle Verschiedenheiten in dieser Hinsicht bestehen. Jedoch habe ich immerhin schon mit 42·5° Schmerz hervorbringen können und zwar an der Brustwarze und an den Augenlidern. Beide Theile zeichnen sich durch dünne Oberhaut aus und wenn sie auch gleichzeitig sehr nervenreich sind, so darf man doch nicht vergessen, dass andere, ebenfalls sehr nervenreiche Theile, wie die Fingerspitzen, doch sehr hoher Wärmereize bedürfen. Die Ursache der niedrigen Schmerzschwelle liegt hier zweifellos hauptsächlich in der dünneren Oberhaut, und somit bestätigen diese Angaben, welche von nicht alterirten Hautstellen gewonnen sind, die obige Vorstellung. Uebrigens möchte ich gelegentlich darauf hinweisen, dass so geringe Temperaturveränderungen, wie sie hier anscheinend vorliegen, nach sonstigen Erfahrungen auf die Nervenfaser kaum wirken (Grützner), dass also wahrscheinlich auch Schmerz leichter von den Nervenendigungen als von den Fasern in ihrer Continuität ausgelöst wird.[2] Hierfür spricht auch die geringe Schmerzempfindlichkeit des Unterhautzellgewebes gegenüber der Cutis.

Wenn somit selbst die zur Erzeugung von Schmerzgefühl hinreichende Veränderung der Endorganschicht als geringfügig angesehen werden muss, so ist dies noch in viel höherem Grade bezüglich der Temperatur-Empfin-

[1] J. Donath, Ueber die Grenzen des Temperatursinnes im gesunden und kranken Zustande. *Archiv für Psychiatrie.* Bd. XV. S. 695.

[2] Vergl. die Versuche mit thermischer Reizung an enthäuteten Fröschen von Lauterbach, The physiological action of heat. *Journal of Physiology.* Vol. II. p. 307 sqq.

dungsschwelle der Fall, da hier die Zeiten bei Weitem kürzer sind. Ich hatte bezüglich der Kälteempfindung beim Gesicht darauf hingewiesen, dass die Reactionszeiten sich kaum über diejenigen der Berührungsreize erheben. Zieht man nun die von Exner für elektrische Reizung der Tastnerven, besonders an der oberen Extremität — wobei die Nerven direct erregt werden, also der durch Umsetzung des adaequaten Reizes in den Nervenprocess consumirte Zeitbetrag fortfällt —, ermittelten Werthe in Betracht, sowie die von v. Vintschgau und Steinach in ihrer vorläufigen Mittheilung gegebenen Werthe für Berührungs- und Kälteempfindung, so gelangt man allerdings zu wechselnden Differenzen von 0·01—0·07 Secunden, welche man auf den physikalischen Vorgang der Abkühlung der Endorganschicht bis zum Schwellenwerth beziehen könnte. Erwägt man nun, dass die Veränderungen dieser Schicht beim Wärmeschmerz, wo es sich um Zeiten von ca. 2 Secunden und darüber handelt, als relativ geringfügig erkannt waren, so wird man sich die während einer Frist von 0·01—0·07 Secunden vorgehenden Veränderungen der Eigentemperatur als so winzig denken müssen, dass wir unsere Vorstellungen über die Feinheit und Leistungsfähigkeit des Temperatursinns wohl erheblich über das gewohnte Maass zu steigern und demselben eine ebenbürtige Stellung neben den licht-, schall- u. s. w. empfindlichen Nerven anzuweisen haben werden. Es ist dies ausserdem ein neuer Beitrag zu ähnlichen Erfahrungen von Seiten anderer Sinne, dass wir niemals die wahre Temperatur der uns umgebenden Objecte durch unser Gefühl werden erkennen können, sondern stets nur ein Miniaturbildchen derselben, nämlich die Schwankungen der Eigentemperatur unserer temperaturempfindlichen Nerven.

Wenn es vorläufig nicht gelingt, den absoluten Betrag dieser Schwankungen zu ermitteln, so ist doch der Versuch berechtigt, den gesetzmässigen Beziehungen zwischen den Veränderungen der Temperatur des Hautinneren und der Grösse und Dauer der äusseren Temperaturreize nachzugehen. Auf meine Bitte ist mein Bruder diesem Problem durch mathematische Betrachtungen, deren Resultate in der Beilage kurz niedergelegt sind, näher getreten. Aus denselben ergiebt sich zugleich, in welcher Weise die physikalischen Constanten, falls sie einmal ermittelt werden sollten, Verwendung zu finden haben.

Der experimentelle Theil vorstehender Arbeit ist in der speciell physiologischen Abtheilung des Berliner physiologischen Instituts unter Leitung des Hrn. Professor Gad, welchem ich dankbarst verpflichtet bin, ausgeführt worden.

Kälte.

Tabelle I.

Gut empfindliche Bezirke mit starken Reizen behandelt.

Körperregionen	Aeusserer Augenwinkel	Wange		Oberarm				Unterarm				Handrücken	Bauch	Regio iliaca u. lumbalis	Oberschenkel	Knie			Wade		Fusssohle
Stufe	VII	VI		IX und VIII				VII und VI				VI	IX u. XI	XI u. XII	VIII	VII			VII		VII
Mittelwerth:	13·5	12·5	14·5	14·6	16·2	16·3	17·8	12·2	14·2	14·5	18·0	17·2	22·6	22·7	25·3	24·1	28·7	31·3	29·4	31·3	49·7
Zeitwerthe																					
7—10	29·4	39·0	17·8	14·2	22·2	17·4	—	11·5	11·1	16·6	14·8	9·5	5·0	4·1	—	—	—	—	—	—	—
11—15	35·2	30·3	42·8	46·4	27·7	29·0	24·9	74·6	44·4	33·2	18·5	19·0	20·0	25·0	—	—	—	—	—	9·5	—
16—20	29·4	21·7	32·1	32·1	33·3	23·2	57·1	15·7	44·4	49·8	33·3	61·8	25·0	25·0	20·0	33·3	7·1	4·7	8·0	4·7	—
21—25	5·8	8·6	3·5	3·5	5·5	29·0	17·8	—	—	—	14·8	4·7	10·0	4·1	45·0	25·9	17·8	23·8	20·0	19·0	—
26—30	—	—	3·5	3·5	11·1	—	—	—	—	—	14·8	4·7	25·0	16·6	20·0	22·2	24·9	28·5	16·0	23·8	4·7
31—35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3·7	—	5·0	16·6	5·0	18·5	35·7	4·7	48·0	4·7	9·5
36—40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4·1	10·0	—	10·7	19·0	8·0	19·0	9·5
41—45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5·0	4·1	—	—	3·5	14·2	—	4·7	4·7
46—50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5·0	—	—	—	—	4·7	—	4·7	28·5
51—55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9·5	9·5
56—60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19·0
61—65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4·7
66—70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9·5
71—75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
76—80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
81—85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
86—90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
91—95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
96—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Kälte.

Tabelle II.

	Gutempfindliche Bezirke mit mässigen und schwachen Reizen behandelt.													Mässig empfindl. Bezirke mit starken Reizen behandelt.			Schwachempfindliche Bezirke mit starken Reizen behandelt.			
Körperregionen	Aeusserer Augenwinkel	Oberarm					Handrücken			Hohlhand	Bauch		Fusssohle	Hohlhand	Handgelenk Vola	Wade	Nase	Unterarm Dorsum		Fingerbeere
Stufe	VII	IX und VIII					VI			IV	IX u. XI		VII	IV	IV	V	II u. III	III u. IV		I u. II
Mittelwerth:	19·7	24·4	27·9	29·0	38·0	40·0	23·3	32·0	47·6	44·2	29·0	42·6	59·0	19·5	26·3	33·1	30·4	53·0	53·2	57·5
Kugeltemperat.:	20°	20°	24°	24°	30°	30°	20°	24°	30°	30°	20°	30°	20°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°
Zeitwerthe																				
7—10	8·3	4·7	—	—	—	—	—	—	—	3·2	—	—	—	3·0	—	—	4·5	—	—	—
11—15	29·1	—	4·5	4·3	3·1	—	—	7·4	—	3·2	—	—	—	15·1	14·8	—	4·5	—	—	—
16—20	20·8	14·2	9·0	8·6	9·3	5·0	42·8	3·7	4·0	3·2	14·3	—	—	39·3	25·9	—	13·6	—	—	—
21—25	16·6	42·8	22·7	21·7	9·3	15·0	28·5	14·8	4·0	6·4	14·3	7·1	—	33·3	14·8	10·0	18·1	5·2	—	—
26—30	20·8	33·3	27·2	26·0	15·6	15·0	7·1	22·2	16·0	6·4	42·8	14·2	—	9·0	11·1	10·0	13·6	10·5	13·6	—
31—35	4·1	4·7	22·7	21·7	34·3	15·0	21·4	25·9	4·0	12·8	7·1	7·1	—	—	14·8	35·0	18·1	—	4·5	—
36—40	—	—	9·0	8·6	6·2	10·0	—	7·4	8·0	6·4	7·1	28·5	—	—	14·8	40·0	4·5	21·0	—	9·0
41—45	—	—	4·5	4·3	3·1	5·0	—	7·4	20·0	12·8	14·3	21·4	5·5	—	—	5·0	9·0	5·2	18·1	4·5
46—40	—	—	—	—	—	10·0	—	—	4·0	6·4	—	—	—	—	—	—	4·5	15·7	13·6	9·0
51—55	—	—	—	4·3	9·3	5·0	—	3·7	12·0	9·6	—	—	27·7	—	—	—	9·0	5·2	4·5	18·1
56—60	—	—	—	—	3·1	10·0	—	7·4	12·0	6·4	—	7·1	27·7	—	3·7	—	—	—	9·0	13·6
61—65	—	—	—	—	—	5·0	—	—	—	3·2	—	7·1	16·6	—	—	—	—	5·2	9·0	27·2
66—70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12·8	—	—	11·1	—	—	—	—	5·2	9·0	4·5
71—75	—	—	—	—	—	—	—	—	8·0	3·2	—	—	11·1	—	—	—	—	5·2	4·5	9·0
76—80	—	—	—	—	3·1	—	—	—	4·0	3·2	—	—	—	—	—	—	—	15·7	4·5	4·5
81—85	—	—	—	—	3·1	5·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4·5	—
86—90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7·1	—	—	—	—	—	—	4·5	—
91—95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
96—100	—	—	—	—	—	—	—	—	4·0	—	—	—	—	—	—	—	—	5·2	—	—

Wärme. Tabelle III. Tabelle IV.

	Gutempfindliche Bezirke mit starken Reizen behandelt.										Gut- und mässigempfindliche Bezirke, mit starken Reizen behandelt. Es wurde auf das Maximum der Empfindung reagirt.									
Körperregionen	Aeusserer Augenwinkel			Oberarm	Unterarm		Regio iliaca und lumbalis		Bauch	An den Canthus ext. anstossender Schläfentheil.	Wange	Oberarm				Unterarm		Handrücken (Spat. int.)	Regio iliaca u. lumbalis	Knie Innenfläche
Stufe	VIII			VI	VI		VIII		VI u. VII	VI u. V	IV	VI				VI		IV	VIII	IV
Mittelwerth:	14·0	15·3	16·0	27·5	26·6	27·8	42·7	44·9	62·2	26·5	59·6	42·7	53·8	53·9	56·7	45·6	52·9	83·4	62·6	103·4
Zeitwerthe																				Werthe von 92—120
7—10	30·9	39·0	20·0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11—15	37·8	17·3	30·0	—	—	—	—	—	—	6·4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
16—20	17·2	21·7	30·0	17·1	28·5	7·1	4·7	—	—	12·8	—	—	—	—	—	6·6	—	—	—	
21—25	6·8	4·3	10·0	28·5	19·0	35·5	—	—	—	25·7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
26—30	3·4	17·3	10·0	19·9	33·3	14·2	4·7	5·0	—	22·5	—	—	—	4·5	—	—	—	—	—	
31—35	3·4	—	—	17·1	4·7	42·6	9·5	—	—	25·7	—	15·7	—	4·5	3·3	13·3	3·8	—	—	
36—40	—	—	—	14·2	4·7	—	23·8	20·0	5·0	6·4	14·3	15·7	5·5	—	6·6	6·6	11·5	—	—	
41—45	—	—	—	2·8	4·7	—	19·0	35·0	5·0	—	14·3	31·5	16·6	13·6	9·9	26·6	19·2	—	—	
46—50	—	—	—	—	4·7	—	14·2	20·0	10·0	—	—	26·3	11·1	4·5	6·6	6·6	15·3	—	15·8	
51—55	—	—	—	—	—	—	4·7	20·0	10·0	—	7·1	10·5	22·2	31·7	16·6	19·9	19·2	—	15·8	
56—60	—	—	—	—	—	—	14·2	—	25·0	—	14·3	—	27·7	9·0	16·6	13·3	15·3		15·8	
61—65	—	—	—	—	—	—	4·7	—	5·0	—	7·1	—	5·5	13·6	13·3	6·6	11·5	7·1	5·2	
66—70	—	—	—	—	—	—	—	—	15·0	—	7·1	—	11·1	9·0	16·6	—	—	7·1	26·3	
71—75	—	—	—	—	—	—	—	—	10·0	—	28·5	—	—	9·0	6·6	—	3·8	21·4	10·5	
76—80	—	—	—	—	—	—	—	—	5·0	—	7·1	—	—	—	3·3	—	—	7·1	5·2	
81 85	—	—	—	—	—	—	—	—	5·0	—	—	—	—	—	—	—	—	14·3	5·2	
86—90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14·3	—	
91—95	—	—	—	—	—	—	—	—	5·0	—	—	—	—	—	—	—	—	7·1	—	
96—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21·4	—	

Tabelle V.

Mässigempfindliche Bezirke, mit starken Reizen behandelt.

Körperregionen	Stirn dicht über der Glabella	Oberarm Vola	Unterarm Vola			Handrücken	Hohlhand	Handgelenk Vola	Oberschenkel		Knie
Stufe	III	IV	IV u. III			IV	III u. IV	III u. IV	IV		IV
Mittelwerth	34·4	54·2	56·9	59·1	61·9	63·0	35·8	41·6	74·3	81·2	82·5
Zeitwerth											
7—10	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
11—15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16—20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21—25	7·8	—	—	—	—	—	—	4·7	—	—	—
26—30	18·4	3·8	—	—	—	—	10·2	9·5	—	—	—
31—35	28·9	—	—	8·0	—	—	48·6	14·2	—	—	—
36—40	36·8	3·8	—	—	7·6	—	20·4	14·2	—	—	—
41—45	2·6	11·5	5·2	16·0	—	3·8	12·8	38·0	—	—	—
46—50	2·6	15·3	5·2	4·0	7·6	—	12·8	4·7	—	—	—
51—55	2·6	23·0	21·0	16·0	15.3	3·8	—	4·7	—	—	—
56—60	—	23·0	10·5	12·0	7·6	34·5	—	9·5	4·3	15·3	—
61—65	—	3·8	21·0	8·0	7·6	23·0	—	—	13·0	—	4·5
66—70	—	—	15·7	16·0	30·7	15·3	—	—	21·7	7·6	4·5
71—75	—	11·5	21·0	4·0	23·0	11·5	—	—	21·7	7·6	9·1
76—80	—	3·8	—	4·0	—	7·6	—	—	13·0	7·6	9·1
81—85	—	—	—	4·0	—	—	—	—	8·6	15·3	18·1
86—90	—	—	—	4·0	—	—	—	—	13·0	23·0	9·1
91—95	—	—	—	4·0	—	—	—	—	4·3	15·3	36·3
96—100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7·6	9·1
101—105	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
106—110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
111—115	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
116—120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
121—125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
126—130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
131—135	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—
136—140	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
141—145	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
146—150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
151—155	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
156—160	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
161—165	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
166—170	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
171—175	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle VI. Tabelle VII.

Schwachempfindliche Bezirke mit starken Reizen behandelt.									Schwache Reize (34°).					
Nase	Unterarm Dorsum		Daumen- u. Kleinfinger-ballen	Fingerbeere	Bauch Nabel-gegend		Wade	Fusssohle	Oberarm (innen unten)		Unterarm (Dorsum)	Hand-rücken	Hohlhand	Wade
I u.II	III		I u.II	I	III u. IV		III u. II	II	VI		III	IV	III u.IV	III u. II
51·3	90·8	92·7	90·5	95·6	119·0	121·4	108·8	205·0	99·1	104·4	177·6	110·7	76·3	190
—	—	—	—	—	—	—	—	Werthe von 123—290.	—	—	Werthe von 77—260.	—	—	Werthe von 120—290.
—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
18·1	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
9·0	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
27·2	3·4	—	—	—	—	—	—		—	—		—	4·7	
9·0	—	—	3·4	—	—	—	—		—	—		—	—	
—	—	—	3·4	—	—	—	—		3·4	—		—	4·7	
—	3·4	—	13·7	—	—	—	—		3·4	—		—	—	
9·0	—	—	6·8	—	—	—	—		3·4	—		—	4·7	
9·0	—	4·5	3·4	—	—	—	—		—	5·2		—	9·5	
9·0	6·8	18·1	—	2·7	—	—	—		3·4	10·5		—	4·7	
9·0	17·2	13·6	—	8·1	—	—	—		10·3	—		—	23·8	
—	6·8	13·6	6·8	21·6	7·1	—	—		10·3	5·2		—	4·7	
—	17·2	4·5	6·8	16·2	7·1	6·2	8·5		10·3	5·2		5·8	9·5	
—	13·7	—	6·8	13·5	—	6·2	—		3·4	—		—	14·2	
—	6·8	13·6	6·8	5·4	7·1	—	25·5		6·8	26·3		23·5	14·2	
—	6·8	4·5	6·8	10·8	7·1	6·2	34·0		6·8	—		11·7	4·7	
—	3·4	9·0	6·8	5·4	7·1	12·5	8·5		3·4	10·5		5·8	—	
—	—	4·5	3·4	8·1	7·1	12·5	—		6·8	—		17·6	—	
—	6·8	—	6·8	2·7	7·1	—	3·5		—	10·5		17·6	—	
—	3·4	4·5	3·4	—	7·1	6·2	—		10·3	10·5		11·7	—	
—	—	4·5	3·4	2·7	14·3	18·7	—		3·4	10·5		—	—	
—	3·4	4·5	3·4	2·7	7·1	—	—		—	—		—	—	
—	—	—	3·4	—	7·1	25·0	8·5		3·4	—		5·8	—	
—	—	—	—	—	14·3	6·2	—		3·4	—		—	—	
—	—	—	3·4	—	—	—	—		—	5·2		—		
—	—	—	—	—	—	—	8·5		—	—		—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—		6·8	—		—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—		—	—		—	—	

Tabelle VIII.

Strahlende Wärme.

Hautbezirke	Handteller	Handteller	Radialer Theil des Handrückens	Handteller	Handrücken	Handteller berusst	Handteller berusst	Handteller	Handteller berusst
Durchschnittswerth	72·9	98·5	61·3	76·4	76·1	65·5	63·1	69·7	57·2
Einzelwerthe	49·5	85·0	50·0	74·5	92·0	51·0	61·0	59·5	64·5
	99·0	75·5	66·0	97·0	71·5	74·5	57·5	64·5	64·0
	43·0	99·0	67·0	72·0	90·0	59·5	67·5	70·0	80·0
	52·0	107·0	46·0	75·0	62·0	67·0	59·0	68·0	62·5
	60·0	87·5	57·0	96·0	88·5	69·0	68·0	82·0	58·0
	52·0	120·0	33·0	73·5	98·5	64·0	70·5	79·0	55·5
	80·0	120·5	89·5	69·0	58·0	62·0	64·5	70·5	60·0
	80·5	94·0	82·0	70·5	89·5	69·5	67·5	71·5	49·0
	94·0	—	—	53·0	71·0	67·5	53·0	67·5	41·0
	98·0	—	—	89·0	63·0	71·0	62·5	65·0	54·0
	94·5	—	—	71·0	71·5	—	—	—	45·5
	—	—		—	58·0	—	—	—	53·0

Anhang.

Ueber die Wärmebewegung in der Haut bei äusseren Temperatureinwirkungen.

Von

Franz Goldscheider,
ord. Lehrer am Luisenstädtischen Realgymnasium zu Berlin.

Die Haut wird von einem von innen nach aussen gehenden Wärmestrom durchsetzt; von der Oberfläche derselben schichtweise nach innen vordringend, würden wir auf eine immer höhere und höhere Temperatur stossen, bis in einer gewissen Tiefe dieselbe Bluttemperatur erreicht und damit constant wird; wenigstens haben die Differenzen, welche die Bluttemperatur verschiedener Körperabschnitte zeigt, für unsere Frage keine Bedeutung. In welcher Tiefe dies geschieht, ist unbekannt; möglicherweise erst unterhalb des Fettpolsters. Nähere Daten über die Art des in dem Hautquerschnitt bestehenden Wärmegefälles fehlen uns gleichfalls. Gleichmässig ist dasselbe wahrscheinlich nicht, denn es ist ziemlich sicher, dass die Wärmeleitungsfähigkeit der Lederhaut besser ist als diejenige der Oberhaut und des Fettgewebes. Es wird auch nicht ohne Belang sein, dass die Oberhaut der Wärmevertheilung durch die Blutströmung entbehrt; und innerhalb ihrer selbst wird wahrscheinlich das Stratum corneum schlechter leiten, als die tieferen Zellschichten. In dieses Wärmegefälle eingeschaltet hat man sich nun die Schicht der Nervenendigungen zu denken, welche eine so geringe Dicke haben wird, dass wir sie bei einer physikalischen Erörterung wohl als eine Ebene betrachten dürfen. Ihre Lage setze ich an die Grenze zwischen Ober- und Lederhaut.

Wir haben davon auszugehen, dass dieser Wärmestrom sich im stationären Zustande befindet, d. h. die von der Hautoberfläche durch Strahlung, Leitung und Verdunstung abgegebene Wärmemenge in con-

tinuirlichem Fluss von innen her ersetzt wird. Hierbei bleibt die Eigentemperatur der verschiedenen Schichten in jedem Zeitmoment die gleiche. Die Frage geht nun dahin, in welcher Weise die Eigentemperatur der Endorganschicht sich ändert, sobald auf die äussere Oberfläche der Haut eine höhere oder niedrigere Temperatur einwirkt. Daraus lässt sich folgende Aufgabe formuliren: Ein Stab von der Länge l ist gegeben, dessen eines Ende constant die Bluttemperatur B, dessen anderes Ende im Anfangszustand die Hautoberflächentemperatur H besitzt. Es möge nun zunächst der Einfachheit halber angenommen werden, das Wärmeleitungsvermögen k, die Dichtigkeit D und die specifische Wärme C seien in den verschiedenen Hautschichten gleich, so dass also ein gleichmässiges Wärmegefälle vorhanden ist. In der Entfernung x vom H-Ende des Stabes befinde sich die Ebene, deren Temperaturveränderung zu untersuchen ist, wenn auf dieses H-Ende die Reiztemperatur R einwirkt, welche während der Zeit ihrer Einwirkung als constant zu betrachten ist.

Diese Temperatur T der x-Schicht hat folgenden Bedingungen zu genügen:

1. $\gamma^2 \frac{d^2 T}{d x^2} = \frac{d T}{d t}$, worin γ^2 das Verhältniss der Wärmeleitungsfähigkeit zur Dichtigkeit und specifischen Wärme: $\frac{k}{D C}$ bezeichnet. Dieser Ausdruck entspricht der Wärmebewegung für den Fall, dass von der seitlichen Ausbreitung der Wärme abgesehen wird. Da der Dicke des Stabes keine Grenzen gesetzt sind, die Länge desselben aber, und speciell bis zur x-Schicht, relativ gering sein wird, so kann die etwaige Verbreitung der Wärme über die Peripherie des Stabquerschnittes hinaus, d. h. ihre seitliche Verbreitung in der Haut ausser Betracht bleiben.

2. An der Stelle $x = 0$ muss jederzeit $k \frac{d T}{d x} = h\ (T - R)$ sein, wo h die Constante des äusseren Wärmeleitungsvermögens darstellt. Dieselbe ist einmal von der Beschaffenheit der Hautoberfläche, ferner von derjenigen des reizgebenden Objectes, als welches wir Metall annehmen wollen, abhängig. Da h jedenfalls gegenüber k als sehr gross anzunehmen ist, so kann der genannten Bedingung ohne erheblichen Einfluss auf das Resultat die einfachere $T = R$ substituirt werden, d. h. wir nehmen an, dass die an das Metall angrenzende Hautoberfläche die Metalltemperatur annimmt.

3. Für $x = l$ soll beständig $T = B$ sein.

4. Im Anfangszustand ($t = 0$) soll $T = a x + b$ sein, wo $a = \frac{B - H}{l}$, $b = H$ ist. Denn da der Anfangszustand als stationär vorausgesetzt wird, so ergiebt sich nach Gl. 1 aus $\frac{d T}{d t} = 0$, dass $\frac{d^2 T}{d x^2} = 0$ und somit $T = a x + b$;

ferner die Gleichung 3. $B = al + b$; und endlich die Bedingung, dass für $x = o$ $T = H$ sein muss, dass $b = H$ zu setzen ist.

Man bildet nun nach bekannten Methoden leicht eine Function, welche den Bedingungen 1. und 2. genügt:

$$T = \sum_\lambda e^{-r^2\lambda^2 t} \alpha_\lambda \sin \lambda x + \beta x + R,$$

wo die Grössen λ, α_λ, β noch beliebig und weiterhin zu bestimmen sind. Die Bedingung 3. erfordert, dass $\sin \lambda l$ verschwinden muss, da sonst T nicht von t unabhängig werden könnte; es muss daher $\lambda l = n\pi$ genommen werden, wo n jede ganze Zahl bedeutet. Ausserdem ergiebt sich $\beta l + R = B$, wodurch β bestimmt ist. Für $t = 0$ haben wir jetzt:

$$T = \sum_n \alpha_n \sin \frac{n\pi x}{l} + \frac{B - R}{l} \cdot x + R,$$

folglich wegen 4.:

$$\sum_n \alpha_n \sin \frac{n\pi x}{l} = (H - R)\left(1 - \frac{x}{l}\right),$$

welche Gleichung für alle Werthe von x zwischen 0 und l gelten muss. Vergleicht man damit die bekannte Fourier'sche Reihe

$$\sum_n \frac{1}{n} \sin n\pi x = \frac{\pi}{2}(1 - x),$$

so lange x zwischen 0 und 2 liegt, so erhellt, dass man nur $\alpha_n = \frac{2}{\pi n}(H - R)$ und für $x \frac{x}{l}$ zu setzen braucht, um die Bedingung 4. zu erfüllen. Man erhält demnach für jede Zeit t und jedes x:

$$T = R + (B - R)\frac{x}{l} + \frac{2}{\pi}(H - R)\sum_1^\infty \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot e^{\frac{-n^2\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}.$$

Diese Function ist die e i n z i g e s t e t i g e, welche den Bedingungen genügt. Denn wäre T' eine Function, welche denselben Bedingungen 1. bis 4. entspräche, so lässt sich beweisen, dass $T - T' = 0$, also T mit T' identisch sein muss.

Setzt man in diesem Ausdruck $t = \infty$, so schrumpft derselbe zusammen auf:

$$T_\infty = R + (B - R)\frac{x}{l},$$

und da bei der Anfangsvertheilung im stationären Zustande die Temperatur T der fraglichen Schicht $T_0 = H + (B - H)\frac{x}{l}$, ist, so geht daraus hervor, dass nach unendlich langer Zeit ein neuer stationärer Zustand eingetreten

ist, wobei R an Stelle von H steht, dass also mit der Dauer der Berührung die Temperaturvertheilung einem neuen, aus R und B resultirenden stationären Zustande zustrebt.

Der Betrag, um welchen die Temperatur der x-Schicht in der Zeit t zunimmt, d. h. die Erwärmung, wird durch Abzug der Anfangstemperatur T_0 von T_t gefunden:

$$= (R - H)\left\{1 - \frac{x}{l} - \frac{2}{\pi}\sum_1^\infty \frac{1}{n} \sin\frac{n\pi x}{l} \cdot e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}.\right\}$$

Hieraus geht hervor, dass die Erwärmung proportional der Differenz zwischen Reiz- und Hauttemperatur, d. h. der Reizstärke, sowie unabhängig von der Bluttemperatur ist. Dagegen besteht keine einfache Beziehung zur Zeit.

Bezüglich der Geschwindigkeit, mit welcher die Temperatur der x-Schicht zunimmt, ergiebt sich durch Differentiation der obigen Formel:

$$v = \frac{dT}{dt} = \frac{2\pi\gamma^2}{l^2}(R - H)\sum_1^\infty \sin\frac{n\pi x}{l} \cdot e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}.$$

Auch die Geschwindigkeit ist demnach proportional der Reizstärke.

Für grosse t genügt von dieser Reihe das erste Glied $\sin\frac{\pi x}{l} \cdot e^{-\frac{\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}$.
Für kleine t dagegen convergirt die Reihe so langsam, dass sie unbrauchbar wird; in diesem Falle aber lässt sie sich in eine andere, sehr stark convergirende umformen. Aus der bekannten Gleichung

$$\sum_{-\infty}^{\infty} e^{-a(n+b)^2} = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \cdot \sum_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\pi^2 n^2}{a}} \cos 2nb\pi$$

folgt nämlich durch Differentiation nach b:

$$\sum_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\pi^2 n^2}{a}} \sin 2nb\pi = \frac{a\sqrt{a}}{\pi\sqrt{\pi}} \sum_{-\infty}^{\infty} e^{-a(n+b)^2}.(n+b),$$

folglich:

$$\sum_1^\infty n e^{-n^2\pi^2 a}. \sin nb\pi = \frac{1}{2a\sqrt{a}\,\pi\sqrt{\pi}} \cdot \sum_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{1}{a}\left(n+\frac{1}{2}b\right)^2} \cdot \left(n + \frac{1}{2}b\right)$$

und daher

$$\frac{dT}{dt} = \frac{(R-H)}{2\gamma\sqrt{\pi}\,t\sqrt{t}} \cdot \sum_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x+2nl)^2}{4\gamma^2 t}}.(x + 2nl).$$

Die grössten Glieder der Reihe sind

$$e^{-\frac{x^2}{4\gamma^2 t}}.x - e^{-\frac{(2l-x)^2}{4\gamma^2 t}}.(2l - x) + e^{-\frac{(2l+x)^2}{4\gamma^2 t}}.(2l + x).$$

Da sich nun $e^{-\frac{(2l-x)^2}{4\gamma^2 t}} : e^{-\frac{x^2}{4\gamma^2 t}}$ verhält wie $e^{-\frac{l(l-x)}{\gamma^2 t}} : 1$, so sind bei kleinen t alle Glieder der Reihe gegen das erste verschwindend klein und daher zu vernachlässigen, — es sei denn, dass $(l-x)$ selbst sehr klein sei (s. unten). Wir haben also, falls $\frac{x}{l}$ nicht sehr nahe der Einheit, mit grosser Annäherung $v = \frac{(R-H)\,x\,.\,e^{-\frac{x^2}{4\gamma^2 t}}}{2\sqrt{\pi}\,\gamma\,t\sqrt{t}}$.

Ist l im Verhältniss zu x sehr gross, so wird diese Formel nicht bloss Annäherungsweise, sondern streng richtig.

Berechnet man, für welchen Werth von t diese Function v ihr Maximum erreicht, so findet man dies $t = \frac{x^2}{6\gamma^2}$. Die Zeit des Maximums der Geschwindigkeit, mit welcher die Temperatur in der x-Schicht steigt oder sinkt, ist demnach lediglich von der Tiefe der Schicht und den physikalischen Constanten abhängig, demnach an einer gegebenen Hautstelle für alle Reizstärken dieselbe. Sie ist umgekehrt proportional der Leitungsfähigkeit k, direct proportional dem Quadrat der Entfernung der Schicht von der Hautoberfläche.

Bezeichnet man diese Zeit des Maximums mit τ, so erhält man für die Geschwindigkeit zur Zeit $n\tau$:

$$v = \frac{3\sqrt{6}\,\gamma^2}{\sqrt{\pi}\,x^2}(R-H)\cdot\frac{e^{-\frac{3}{2n}}}{n\sqrt{n}},$$

also, wenn man die Maximalgeschwindigkeit mit V bezeichnet:

$\frac{v}{V} = \frac{e^{\frac{3}{2}\left(1-\frac{1}{n}\right)}}{n\sqrt{n}}$. Hiernach ist für $n=2$ $\frac{v}{V} = 0\cdot75$; für $n=3$ $\frac{v}{V} = 0\cdot52$; für $n=4$ $\frac{v}{V} = 0\cdot38$.

Die umstehende Tabelle giebt für eine Anzahl der n die Werthe von $\frac{v}{V}$ und die Erwärmung selbst, letztere in Theilen der Reizstärke.

Zu dieser Tabelle ist noch zu bemerken: das Verhältniss des grössten der weggelassenen Glieder der Reihe für v zu dem ersten Gliede ist $e^{-\frac{l(l-x)}{\gamma^2 t}}\cdot\frac{(2l-x)}{x}$, also $= e^{-\frac{6l(l-x)}{nx^2}}\cdot\frac{(2l-x)}{x}$. Für $x = \frac{2}{3}l$ wird daraus $2e^{-\frac{9}{2n}}$, also für $n=1$ nur $\frac{1}{50}$, für $n=2$ schon $\frac{1}{5}$. Für grössere n ist es daher nicht mehr gestattet, nur das erste Glied beizubehalten und es bleibt in Folge dessen $\frac{v}{V}$ nicht mehr von n allein abhängig, sondern ausserdem von x. Es ist nun in der Tabelle die Annahme $x = \frac{l}{5}$ zu Grunde

n	$\frac{v}{V}$	$\frac{\text{Erwärmung}}{\text{Reizstärke}}$	n	$\frac{v}{V}$	$\frac{\text{Erwärmung}}{\text{Reizstärke}}$
0·1	0·00004	0·00000004	3	0·52	0·317
0·2	0·03	0·0004	4	0·38	0·387
0·3	0·18	0·0016	5	0·30	0·438
0·4	0·42	0·0062	6	0·24	0·480
0·5	0·63	0·0143	7	0·19	0·513
0·6	0·79	0·0254	8	0·16	0·540
0·7	0·90	0·0384	9	0·14	0·564
0·8	0·96	0·0529	10	0·12	0·584
0·9	0·99	0·0679	20	0·05	0·697
1·0	1	0·0832	30	0·02	0·748
1·2	0·98	0·1138	40	0·01	0·776
1·4	0·93	0·1432	50	0·006	0·786
1·6	0·87	0·1709	100	0·00024	0·7995
1·8	0·81	0·1966	∞	0	0·8
2·0	0·75	0·2206			

gelegt. Jedoch bleibt zu beachten, dass aus dem angeführten Grunde der erste Theil derselben, etwa bis $n = 2$ von dieser Annahme wesentlich unabhängig ist. Auch in ihrem zweiten Theile giebt die Tabelle für alle Fälle wenigstens ein ungefähres Bild von den Beziehungen der Geschwindigkeit und Erwärmung zur Reizdauer. Die beistehende Curve giebt eine graphische Darstellung der Verhältnisse. Die Ordinaten sind dabei den Geschwindigkeiten, die Flächen den Erwärmungen proportional. Die Abscisse stellt die



Zeit dar. Bemerkenswerth ist, dass die Stellen des Krümmungswechsels bei $n = 0·37$ und $n = 1·63$, also je gleich weit von dem Maximum der Geschwindigkeit $n = 1$ liegen. Wenn γ^2 und die Länge von x bekannt wäre, so könnte man mit Hülfe der Tabelle leicht den Grad der Erwärmung oder Abkühlung bestimmen, welchen die x-Schicht bis zu dem Moment erleidet, wo eine Empfindung ausgelöst wird. Die betreffende Zeit liesse sich aus den Reactionszeiten auswerthen, während die Zeit τ, nach welcher das Maximum der Erwärmung eintritt, durch x und γ gegeben ist. Das Ver-

hältniss jener Zeit zu dieser giebt uns n und damit den Betrag der Erwärmung in Theilen der Reizstärke.

Es war bisher (s. 515) angenommen, dass $\frac{x}{l}$ nicht der 1 sich nähert; jetzt soll nun dieser Fall betrachtet werden. Setzt man $x = l.(1 - \varepsilon)$, so lautet die Formel für v:

$$v = \frac{(R - H) \cdot l}{2\gamma\sqrt{\pi}\, t\sqrt{t}} \cdot \sum_u e^{-\frac{l^2}{4\gamma^2 t}(u-\varepsilon)^2} . (u - \varepsilon),$$

wo u alle positiven und negativen ungeraden Zahlen zu durchlaufen hat. Fasst man je zwei Glieder mit $+u$ und $-u$ zusammen, so erhält man, da unter der Voraussetzung, dass ε eine kleine Grösse ist, $e^{-a(u-\varepsilon)^2}.(u - \varepsilon) - e^{a(u+\varepsilon)^2}.(u + \varepsilon) = -2\varepsilon e^{-au^2}(1 - 2au^2)$ ist,

$$v = \frac{(R - H).\varepsilon.l}{\gamma\sqrt{\pi}\, t\sqrt{t}} \sum_u e^{-\frac{l^2 u^2}{4\gamma^2 t}} . \left(\frac{l^2 u^2}{2\gamma^2 t} - 1\right),$$

wo u alle positiven ungeraden Zahlen durchläuft. Diese Reihe lässt sich in die folgende umformen:

$$v = (R - H) \cdot \frac{2\varepsilon\pi^2\gamma^2}{l^2} \cdot \sum_1^\infty (-1)^{n+1} n^2 e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}$$

und daher ist

$$\frac{dv}{dt} = (R - H) \cdot \frac{2\varepsilon\pi^4\gamma^4}{l^4} \cdot \sum_1^\infty (-1)^n n^4 e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}.$$

Die Zeit τ der Maximalgeschwindigkeit ist demnach aus der Gleichung zu bestimmen:

$$o = e^{-\frac{\gamma^2\pi^2 t}{l^2}} - 16.e^{-\frac{4\gamma^2\pi^2 t}{l^2}} + 81\, e^{-\frac{9\gamma^2\pi^2 t}{l^2}} \ldots\ldots$$

Hieraus ergiebt sich, am besten mit Hülfe der Theorie der elliptischen Functionen, $e^{-\frac{\gamma^2\pi^2 t}{l^2}} = 0{\cdot}404$ und folglich $\tau = 0{\cdot}092\,\frac{l^2}{\gamma^2}$.

Dieser Ausdruck gilt also für solche Schichten, welche sehr nahe an l herankommen. Die Verschiedenheit der Entfernungen von l ist somit in diesem Falle nicht mehr bestimmend für die Zeit, nach welcher die Geschwindigkeit culminirt. Denkt man sich in dem Stabe von 0 bis l in gleichen Abständen 10 Schichten, von denen jede einem x entsprechen soll, so bestimmen sich die vorschiedenen τ, nach welchen in jeder Schicht die Geschwindigkeit culminirt, etwa bis zur 7. Schicht nach der obigen Beziehung: $\tau = \frac{x^2}{6\gamma^2}$, von da ab bis l nach der letzten: $\tau = 0{\cdot}092\frac{l^2}{\gamma^2}$. Hiernach werden sich die τ der verschiedenen angenommenen Schichten zu einander verhalten wie 1:4:9:16:25:36:49:54:54:54.

Je dicker die Oberhaut ist, desto länger dauert es, ehe die Geschwindigkeit der Temperaturveränderung ihr Maximum erreicht. Wenn die physikalische Constante γ^2 bekannt wäre, würde man leicht entscheiden können, ob das Maximum der Geschwindigkeit zum Schwellenwerth der Empfindung oder etwa zu der Zeit, nach welcher das Maximum der Empfindung stattfindet, in Beziehung steht. Allein beides ist unwahrscheinlich; denn sowohl die Schwelle der Empfindung wie das Maximum derselben hat sich abhängig von der Reizstärke gezeigt, während die Zeit, nach welcher die Geschwindigkeit der Erwärmung bez. Abkühlung ihr Maximum erreicht, von der Reizstärke unabhängig ist.

Für die gesammte Betrachtung ist es gleichgültig, ob R grösser oder kleiner als H ist. Daher gilt alles für Erwärmung und Abkühlung in gleicher Weise. In den physikalischen Vorgängen kann daher auch ein Grund für die Verschiedenheiten der Reactionszeiten nicht gesucht werden.

Man könnte den zur Auslösung einer Temperaturempfindung nöthigen Betrag von Erwärmung und Abkühlung der x-Schicht mit Umgehung der physikalischen Constanten ermitteln, wenn es gelänge, für einige verschieden grosse Reize die Zeiten genau festzustellen, nach welchen dieser Betrag den Schwellenwerth erreicht. Sei letzterer ε genannt — welches als sehr klein zu denken ist — so findet man nämlich, wenn δ und δ_1 Reize, t und t_1 die zugehörigen Zeiten sind: $\varepsilon = \dfrac{\frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt[t-t_1]{\frac{\delta^t}{\delta_1^{t_1}}}}{\sqrt{\frac{t_1 \log \delta_1 - t \log \delta}{t - t_1}}}$. Für drei Beobachtungen wird

$$\log \delta \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2}\right) + \log \delta_1 \left(\frac{1}{t_2} - \frac{1}{t}\right) + \log \delta_2 \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t_1}\right) = 0,$$

woraus folgt, dass wenn $\log \delta, \log \delta_1, \log \delta_2$ eine arithmetische Progression bilden, auch $\frac{1}{t}, \frac{1}{t_1}, \frac{1}{t_2}$ eine solche bilden müssen. Es ist jedoch bei dahin gerichteten Reactionsversuchen nicht gelungen, Resultate zu erhalten, welche eine genügend scharfe Auswerthung der für den Schwellenwerth erforderlichen Zeiten ermöglichten.

Es möge nun der der Wirklichkeit näher kommende Fall untersucht werden, dass die Wärmeleitungsfähigkeit im Gebiete der Oberhaut eine andere ist als im Gebiete der Lederhaut. Es seien von $x = 0$ bis $x = \lambda$ die Leitungsfähigkeit k, die specifische Wärme C, die Dichtigkeit D; von $x = \lambda$ bis $x = l$ diese Grössen bez. k', C', D', und wie vorher $\gamma^2 = \frac{k}{DC}, \gamma'^2 = \frac{k'}{D'C'}$. Heisse T die Temperatur zur Zeit t von $x = 0$ bis $x = \lambda$ und U von $x = \lambda$ bis $x = l$, so haben diese Functionen T und U den folgenden Bedingungen zu genügen:

$$1.\quad \gamma^2 \frac{d^2 T}{d x^2} = \frac{d T}{d t}$$

$$2.\quad \gamma'^2 \frac{d^2 U}{d x^2} = \frac{d U}{d t}$$

$$3.\ \text{für}\ x = 0\ T = R.$$

$$4.\ \text{für}\ x = l\ U = B.$$

Da die in der Zeit dt in der Richtung der wachsenden x durch den Querschnitt q fliessende Wärmemenge $= -kq\frac{dT}{dx}dt$ ist, so muss an der Stelle λ, welche als gemeinschaftliche Grenze zweier Stäbe anzusehen ist,

$$5.\quad k\frac{dT}{dx} = k'\frac{dU}{dx}\ \text{sein.}$$

Für den am Anfang vorausgesetzten stationären Zustand folgt aus 1. wegen $\frac{dT}{dt} = 0$ $T = ax + b$; ebenso aus 2. $U = a'x + b'$, wo durch die Bedingung, dass für $x = 0$ $T = H$ sein muss, die Constante $b = H$, und durch die Bedingung, dass für $x = l$ $U = B$ sein muss, $b' = B - a'l$ gefunden wird; ferner ergiebt die Bedingung 5. $ka = k'a'$. Demnach ist

$$6.\ \text{für}\ t = o\ T = H + ax\ \text{und}$$

$$7.\ \text{für}\ t = o\ U = B + \frac{ak}{k'}(x - l).$$

Die Constante a bleibt willkürlich. Sie ist in der That durch die gegebenen Bedingungen nicht bestimmbar; erst durch die Forderung, dass das Temperaturgefälle einen stetigen Verlauf nehmen, also an der Stelle $x = \lambda$ $T = U$ sein solle, würde sie bestimmt sein und zwar $= \dfrac{B - H}{\lambda + \frac{k}{k'}(l - \lambda)}$.

Wir gehen sogleich von der Annahme der Functionen T und U in der folgenden Form aus, welche wir oben als geeignet zur Erfüllung der gegebenen Bedingungen fanden:

$$T = g\sum_1^\infty \frac{e^{-n^2\gamma^2\alpha^2 t}}{n} \cdot \sin n\alpha x + \varrho x + R$$

$$U = h\sum_1^\infty \frac{e^{-n^2\gamma'^2\beta^2 t}}{n} \cdot \sin n(\beta x + \delta) + \sigma(l - x) + B.$$

Hierdurch sind bereits die Bedingungen 1. 2. 3. erfüllt. Zur Erfüllung von 4. ist noch erforderlich, dass $\beta l + \delta = m\pi$, wo m eine ganze Zahl; $g, \alpha, \varrho, h, \beta, \sigma, m$ sind noch zu bestimmende Constanten.

Die Bedingung 5. ergiebt die Gleichung:

$$kag\sum_1^\infty e^{-n^2\gamma^2\alpha^2 t}\cos n\alpha\lambda + \varrho k = k'h\beta\sum_1^\infty e^{-n^2\gamma'^2\beta^2 t}\cos n(\beta\lambda + \delta) - \sigma k'.$$

Um dieselbe für jedes t zu befriedigen, muss $\gamma\alpha = \gamma'\beta$, $\varrho k = -\sigma k'$,

$k\alpha g = k'h\beta$ sein, und ansserdem $\cos\alpha\lambda = \cos(\beta\lambda+\delta)$. Den ersten drei Gleichungen wird genügt, indem wir setzen:

$$\alpha = p\gamma',\ \beta = p\gamma,\ \varrho = qk',\ \sigma = -qk,\ g = rk'\gamma,\ h = rk\gamma'$$

wo p, q, r beliebig. Die Bedingung 6. giebt jetzt: Es soll

$$\sum_1^\infty \frac{\sin np\gamma' x}{n} = \frac{H - R + (a - qk')x'}{rk'\gamma}$$

sein für alle x zwischen 0 und λ. Es ist aber (s. obige Fourier'sche Reihe)

$$\sum_1^\infty \frac{\sin nx}{n} = \frac{\pi - x}{2},$$

wenn x zwischen 0 und 2π liegt; daher

$$\sum_1^\infty \sin\frac{np\gamma' x}{n} = \frac{\pi - p\gamma' x}{2},$$

wenn x zwischen 0 und $\frac{2\pi}{p\gamma'}$, liegt. Daraus ergiebt sich $\frac{H-R}{rk'\gamma} = \frac{\pi}{2}$ und $\frac{a-qk'}{rk'\gamma} = -\frac{p\gamma'}{2}$, sowie dass $p\lambda\gamma' < 2\pi$ (da p offenbar als positiv vorausgesetzt werden kann). Die Bedingung 7. endlich liefert: Es soll sein

$$\sum_1^\infty \frac{1}{n} \sin n(m\pi + p\gamma x - p\gamma l) = \frac{\gamma p}{2}(l - x),$$

wenn x zwischen λ und l liegt. Setzt man $p\gamma(l-x) = \xi$, so muss also

$$\sum_1^\infty \frac{1}{n} \sin n(m\pi - \xi) = \frac{\xi}{2}$$

sein wenn ξ zwischen 0 und $p\gamma(l-\lambda)$ liegt. Hieraus folgt durch Vergleichung mit der mehrfach genannten Fourier'schen Reihe, dass $m = 1$ und $p(l-\lambda)\gamma < \pi$ sein muss. Die oben gefundene Gleichung $\cos\alpha\lambda = \cos(\beta\lambda + \delta)$, geht jetzt über in $\cos p\gamma'\lambda = -\cos p\gamma(l-\lambda)$, woraus wegen der Bedingungen $p\gamma'\lambda < 2\pi$ und $p\gamma(l-\lambda) < \pi$ folgt, dass $p\gamma'\lambda \pm p\gamma(l-\lambda) = \pi$. Bezeichnet somit ε eine der beiden Zahlen $+1, -1$, so haben wir $p = \frac{\pi}{\gamma'\lambda + \varepsilon\gamma(l-\lambda)}$, oder, wenn wir zur Abkürzung $\lambda + \varepsilon\frac{\gamma}{\gamma'}(l-\lambda) = L$ setzen: $p = \frac{\pi}{\gamma' L}$.

Wir haben jetzt:

$$T = \frac{2}{\pi}(H - R)\sum_1^\infty \frac{e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t^2}{L^2}}}{n} \cdot \sin\frac{n\pi x}{L} + x\left(a + \frac{H-R}{L}\right) + R$$

$$U = \frac{2}{\pi}(H - R)\frac{k\gamma'}{k'\gamma}\sum_1^\infty \frac{e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{L^2}}}{n} \cdot (-1)^n \cdot \sin\frac{n\pi x}{L\gamma'}(x - l) +$$

$$\frac{k}{k'}(x - l)\left(a + \frac{H-R}{L}\right) + B$$

Diese Functionen genügen in der That den Bedingungen 1. bis 7, sowohl wenn die in L vorkommende Grösse $\varepsilon = +1$, als wenn sie $= -1$ ist. Aus den beiden für p gefundenen Beschränkungen: $p\gamma'\lambda < 2\pi$ und $p\gamma(l-\lambda) < \pi$ erwachsen aber für L folgende Beschränkungen: $L > \frac{1}{2}\lambda$ und $L > \frac{\gamma}{\gamma'}(l-\lambda)$, welche beiden leicht zu vereinigen sind in die eine: $\lambda > \frac{\gamma}{\gamma'}(l-\lambda)(1-\varepsilon)$. Für $\varepsilon = +1$ nun ist diese Bedingung immer von selbst erfüllt; für $\varepsilon = -1$ dagegen legt sie den Grössen $\lambda, l, \gamma, \gamma'$ die Beschränkung auf, dass $\frac{\lambda}{l-\lambda} > \frac{2\gamma}{\gamma'}$ sei. Die Lösung mit $\varepsilon = +1$ ist also allgemein, die mit $\varepsilon = -1$ nicht. Die erstere entspricht aber auch der Anforderung, dass die Darstellung der Temperaturfunction für zwei verschiedene Leitungsfähigkeiten durch stetigen Uebergang aus derjenigen für eine einzige Leitungsfähigkeit hervorgehe. Denn setzen wir $L = \lambda + \frac{\gamma}{\gamma'}(l-\lambda)$, so geht für $\gamma = \gamma'$ L in l über und wir erhalten so im Falle $k = k'$, $\gamma = \gamma'$:

$$T = \frac{2}{\pi}(H-R)\sum_1^\infty \frac{e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}}{n} \cdot \sin\frac{n\pi x}{l} + x\left(\frac{B-R}{l}\right) + R$$

$$U = \frac{2}{\pi}(H-R)\sum_1^\infty \frac{e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{l^2}}}{n} \cdot \sin\frac{n\pi x}{l} + x \cdot \left(\frac{B-R}{l}\right) + R,$$

wobei $a = \dfrac{B-H}{\lambda + \frac{k}{k'}(l-\lambda)} = \dfrac{B-H}{l}$ gesetzt wurde (s. oben). Also $T = U =$ der Eingangs unter der Annahme eines einzigen k gefundenen Function (s. 513).

Für $x = \lambda$, d. h. die in Frage kommende Endorganschicht, erhalten wir:

$$T = \frac{2}{\pi}(H-R)\sum_1^\infty \frac{e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{L^2}}}{n} \cdot \sin\frac{n\pi\lambda}{L} + \left(a + \frac{H}{L}\right)\lambda + \frac{\gamma(l-\lambda)}{\gamma' L} \cdot R.$$

Demnach für die Erwärmung dieser Stelle:

$$\frac{2}{\pi}(H-R)\sum_1^\infty \frac{e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{L^2}}}{n} \cdot \sin\frac{n\pi\lambda}{L} + \frac{(R-H)\gamma(l-\lambda)}{\gamma' L}$$

oder auch:

$$(R-H)\left\{1 - \frac{\lambda}{L} - \frac{2}{\pi}\sum_1^\infty \frac{\sin\frac{n\pi\lambda}{L}}{n} e^{-\frac{n^2\gamma^2\pi^2 t}{L^2}}\right\}.$$

Vergleicht man hiermit die oben für die Annahme eines einfachen k gefundene Formel für die Erwärmung der x-Schicht, so ergiebt sich das einfache Resultat, dass die Beziehungen des Temperaturzuwachses zum An-

fangszustand, zu den physikalischen Constanten und der Reiztemperatur hier dieselben sind wie dort, denn man braucht nur in jenem Ausdruck überall L statt l und λ statt x einzusetzen, um ihn in den jetzt gefundenen überzuführen. Ebenso gelten für den jetzt behandelten Fall alle früher gezogenen Folgerungen über die Geschwindigkeit. Der Vorgang in der Grenzschicht λ der beiden qualitativ verschiedenen Stäbe verläuft so, als ob dieselbe eine Querebene in einem Stabe von gleichförmigem k (und γ) vorstellt, dessen Länge jedoch nicht der Summe der reellen Längen der beiden Stäbe entspricht, sondern sich aus dem Verhältniss der physikalischen Constanten in der Art bestimmt, wie es der Ausdruck $\lambda + \frac{\gamma}{\gamma'}(l - \lambda)$ zeigt.

Wird γ', welches jedenfalls $> \gamma$, im Verhältniss zu letzterem sehr gross, so wird L wenig mehr als λ, die Wärmebewegung verläuft dann, als wenn in dem virtuellen Stabe gleich hinter λ Bluttemperatur herrschte. Es wird somit dann für die Zeit des Maximums der Geschwindigkeit die oben entwickelte Formel $\tau = 0{,}092 \frac{l^2}{\gamma^2}$ in Anwendung kommen.

Stetig wird die Temperaturfunction an der Grenzebene x nicht, d. h. T wird nicht $= U$, selbst wenn im Anfangszustand Stetigkeit vorhanden ist. Der Berechnung ist ein Verhältniss supponirt, etwa der Art, dass dort, wo die beiden Stäbe aneinander grenzen, eine unendlich dünne, diathermane, aber sehr schlecht leitende Schicht eingeschaltet ist, durch welche hindurch die beiden Grenzflächen gegen einander Wärmestrahlen austauschen. Natürlich wird in Wirklichkeit ein stetiger Uebergang der Temperaturfunction bestehen, indem die physikalische Constante γ^2 keine plötzlichen Sprünge, sondern ebenfalls allmähliche Uebergänge zeigen wird. Es werden also an der Grenze der beiden Medien von differenten physikalischen Eigenschaften sich eine Reihe von beliebig fein zu denkenden Schichten einschieben, welche einen Uebergang vermitteln. Immerhin kann derselbe für endliche Maasse wohl ein ziemlich scharfer sein. Man könnte daran denken, dass die Einlagerung der Nervenendorganschicht zwischen die beiden differenten Medien nicht ohne Bedeutung für die erregende Wirkung der Temperaturreize sein möchte, insofern die in das Grenzgebiet fallenden Nerventheile ihre Eigentemperatur in erheblich anderer Weise ändern werden als die innerhalb der besserleitenden Lederhaut gelegenen Theile und somit im Verlauf der Endtheile der Nerven sich schärfere Temperaturgegensätze bilden werden.

Die Wärmevertheilung in der Lederhaut durch Blutströmung ist ausser Betracht geblieben. Dieselbe wird im Verein mit dem besseren Wärmeleitungsvermögen dieser Hautschicht dahin wirken, das Wärme-

gefälle innerhalb derselben weniger steil zu machen. Insofern ist ihr Einfluss in den vorangegangenen Suppositionen ($\gamma' > \gamma$) bereits enthalten.

Die Bestimmung der Grösse der Wärmebewegung in der Nervenendorganschicht auf Grund der vorstehenden Rechnungen ist an die Kenntniss der physikalischen Constanten und der Tiefe von x und l gebunden. Setzt man den aus Klug's Angaben zu berechnenden Werth von k ein, unter gleichzeitiger Annahme der relativ wahrscheinlichsten Bedingungen für D, C, H, x, l, so ergeben sich bei der Kleinheit der schon merklichen Reizstärken und der für die Erregung der Nerven aus den Reactionszeiten auszusondernden Zeitwerthe minimale Beträge für den Schwellenwerth des Wärmezuwachses oder -Abganges in der Endorganschicht; jedoch dürften eben die Klug'schen Werthe erheblich zu niedrig gegriffen sein. Es wurde noch auf andere Weise versucht, die Constanten zu ermitteln: die während einer bestimmten Zeit von der gesammten Hautoberfläche abgegebene Wärmemenge muss in derselben Zeit unter dem Einfluss der zwischen dem Innern der Haut und der Oberfläche bestehenden Temperaturdifferenz durch die Haut geflossen sein; wenn der Betrag der ersteren genau bekannt wäre, könnte man hieraus k bestimmen. Allein auch die neueren Untersuchungen über diesen Gegenstand gewähren keine in dieser Richtung zu verwendenden genügend sicheren und übereinstimmenden Werthangaben.

Die Aufgabe lässt sich auch bei Forderung der Stetigkeit an der Trennungsstelle der beiden Stäbe lösen, nur sind Weg und Resultat bedeutend verwickelter als in den bisher betrachteten Fällen. Bezeichnen wieder λ die Länge, k, γ die Wärmeleitungsconstanten des ersten Stabes, λ', k', γ' die entsprechenden Grössen des zweiten Stabes, T die Temperatur im ersten, T' im zweiten, so haben diese Functionen die folgenden Bedingungen zu erfüllen:

I) $\gamma^2 \frac{d^2 T}{d x^2} = \frac{d T}{d t}$, II) $\gamma'^2 \frac{d^2 T'}{d x^2} = \frac{d T'}{d t}$, III) für $x = 0$, $T = R$, IV) für $x = l = \lambda + \lambda'$, $T' = B$, V) für $x = \lambda$ $T = T'$, VI) für $x = \lambda$, $k \frac{d T}{d x} = k' \frac{d T'}{d x}$, VII) für $t = 0$, $T = H + \frac{k'(B - H) x}{k \lambda' + \lambda k'}$, VIII) für $t = 0$, $T' = B + \frac{k (B - H)(x - l)}{k \lambda' + \lambda k'}$. Die Bedingungen VII) und VIII) ergeben sich aus der Forderung des stationären Anfangszustandes mit Berücksichtigung der Bedingungen IV), V), VI) und der, dass für $x = 0$ $T = H$ sein soll. Es können hier nur die Resultate angegeben werden:

$$T = R + \frac{(B - R) k' x}{k \lambda' + \lambda k'} + 2 (H - R) \sum \frac{\frac{1}{\sigma} e^{-\frac{t \gamma^2 \sigma^2}{\lambda^2}} \sin \frac{\sigma x}{\lambda}}{1 + \frac{k \lambda'}{k' \lambda} \cos^2 \sigma + \frac{\gamma^2 k' \lambda'}{\gamma'^2 k \lambda} \sin^2 \sigma}$$

$$T' = B + \frac{(B-R)\,k\,(x-l)}{k\lambda' + \lambda k'} + 2(H-R)\sum \frac{\frac{1}{\sigma}\, e^{-\frac{t\gamma^2\sigma^2}{\lambda^2}} \sin\left(\frac{\sigma(l-x)\gamma}{\lambda\gamma'}\right) \cdot \frac{\sin\sigma}{\sin\left(\frac{\sigma\lambda'\gamma}{\lambda\gamma'}\right)}}{1 + \frac{k\lambda'}{k'\lambda}\cos^2\sigma + \frac{\gamma^2 k'\lambda'}{\gamma'^2 k\lambda}\sin^2\sigma}$$

wo sich die Summen auf alle unendlich vielen positiven Grössen σ beziehen, die der Gleichung

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\gamma\lambda'}{\lambda\gamma'}\sigma\right) = -\frac{\gamma k'}{k\gamma'}\operatorname{tg}\sigma \text{ oder auch } \sin\left(\frac{\gamma\lambda' + \lambda\gamma'}{\lambda\gamma'}\right)\sigma = \left(\frac{\gamma k' - k\gamma'}{\gamma k' + k\gamma'}\right)\sin\left(\frac{\gamma\lambda' - \lambda\gamma'}{\lambda\gamma'}\right)\sigma$$

genügen.

Wie man sieht, strebt die Temperatur in unendlich langer Zeit wieder einem stationären Zustande zu, der sich von dem Anfangszustande nur dadurch unterscheidet, dass R an die Stelle von H tritt. An der uns interessirenden Stelle $k = \lambda$ ist

$$T = T' = \frac{Rk\lambda' + Bk'\lambda}{k\lambda' + k'\lambda} + 2(H-R)\sum \frac{\frac{1}{\sigma}\, e^{-\frac{t\gamma^2\sigma^2}{\lambda^2}} \sin\sigma}{1 + \frac{k\lambda'}{k'\lambda}\cos^2\sigma + \frac{\gamma^2 k'\lambda'}{\gamma'^2 k\lambda}\sin^2\sigma}$$

und da die Anfangstemperatur dort $\frac{Hk\lambda' + Bk'\lambda}{k\lambda' + k'\lambda}$ war, so findet sich die zur Zeit t eingetretene Erwärmung $= (R-H)\left\{\frac{k\lambda'}{k\lambda' + k'\lambda} - 2\sum\right\}$, also wieder dem Reiz proportional und von B unabhängig. Dasselbe gilt daher von der Geschwindigkeit der Erwärmung und folglich wird auch hier die Zeit des Eintretens der Maximalgeschwindigkeit vom Reiz und der Temperatur B ganz unabhängig.

Aus den Formeln für T und σ erhellt, dass dieselben unverändert bleiben, wenn die Grössen λ', k', γ' durch $p\lambda', pk', p\gamma'$ ersetzt werden, wo p beliebig ist, d. h. die Temperatur in einem Stabe, an den ein anderer mit den Constanten λ', k', γ' angesetzt ist, hängt lediglich von den gegenseitigen Verhältnissen dieser Constanten ab, nicht aber von ihren absoluten Werthen. Hieran lässt sich eine bemerkenswerthe Folgerung knüpfen: wir multipliciren die Grössen λ', k', γ' mit $\frac{k}{k'}$, so dass sie übergehen in $\frac{\lambda' k}{k'}$, k, $\frac{\gamma' k}{k'}$. Demnach können wir immer dem zweiten Stabe die Constante k des ersten verschaffen; ist nun die Relation $k : k' = \gamma : \gamma'$ erfüllt, so wird auch $\frac{\gamma' k}{k'} = \gamma$ und beide Stäbe besitzen dann dieselben Constanten k, γ, sind mithin als ein einziger zu betrachten und es muss deshalb auch die Formel für T in unsere erste übergehen; in der That erhält man unter der Voraussetzung der Proportion $k : k' = \gamma : \gamma'$ für σ die Gleichung $\sin\left(\frac{\gamma\lambda' + \lambda\gamma'}{\lambda\gamma'}\right)\sigma = 0$, folglich

$\sigma = \frac{n \pi \lambda \gamma'}{\gamma \lambda' + \lambda \gamma'}$, wo n alle ganzen Zahlen von 1 an durchläuft, und

$$T = R + (B - R)\frac{x}{L} + \frac{2}{\pi}(H - R)\sum_{1}^{\infty}\frac{1}{n}e^{-\frac{n^2 \pi^2 \gamma^2 t}{L^2}}\sin\frac{n \pi x}{L}, \text{ wo } L = \lambda + \frac{\lambda' \gamma}{\gamma'}.$$

Dies Resultat deckt sich vollständig mit dem unter Voraussetzung der Unstetigkeit erhaltenen und zwar ergiebt sich, dass in dem besonderen Falle $k : k' = \gamma : \gamma'$ und nur in diesem die Unstetigkeit jener Lösung verschwindet, falls man der dort auftretenden willkürlichen Grösse a den einem stetigen Anfangszustande entsprechenden Werth $\frac{B - H}{L}$ ertheilt.

Die transscendente Gleichung für σ kann nicht aufgelöst werden, weil wir die numerischen Werthe der Constanten nicht besitzen und nur unter besonderen Annahmen, wie der soeben erwähnten, dass $k : k' = \gamma : \gamma'$, lässt sich diese Schwierigkeit heben.

Allein es existirt ein sehr allgemeiner Fall, in welchem es gelingt, ein übersichtliches Gesetz der Temperatur zu erkennen, und dieser entspricht gerade den thatsächlichen Verhältnissen, nämlich der Fall, dass die Länge λ' des zweiten Stabes sehr gross sei im Verhältniss zur Länge λ des ersten Stabes. Unter dieser Annahme lässt sich für die Erwärmung an der Stelle λ die einfache Formel ableiten:

$$\frac{(R - H) \cdot 4 k \gamma'}{\sqrt{\pi}(k \gamma' + k' \gamma)} \cdot \sum_{0}^{\infty}\left(\frac{\gamma k' - \gamma' k}{\gamma k' + \gamma' k}\right)^n \int_{\frac{(2n+1)\lambda}{2 \gamma \sqrt{t}}}^{\infty} e^{-x^2}\, dx,$$

(für das hier vorkommende Integral existiren Tabellen behufs numerischer Berechnung). Für kleine Zeiten t genügt nun schon mit sehr grosser Annäherung das erste Glied dieser Reihe, so dass wir das Resultat erhalten: Unter Voraussetzung grosser λ' und kleiner t befolgt die Erwärmung an der Stelle λ das Gesetz:

$$\frac{(R - H) \cdot 4 k \gamma'}{\sqrt{\pi}(k \gamma' + k' \gamma)} \int_{\frac{\lambda}{2 \gamma \sqrt{t}}}^{\infty} e^{-x^2}\, dx.$$

Daraus ergiebt sich für die Geschwindigkeit der Erwärmung die Formel

$$\frac{(R - H) \cdot k \gamma' \lambda e^{-\frac{\lambda^2}{4 \gamma^2 t}}}{\sqrt{\pi}\, \gamma (k \gamma' + k' \gamma) t \sqrt{t}},$$

mithin dasselbe Resultat wie bei der ersten Untersuchung unter Annahme eines einzigen Stabes, nur mit Hinzufügung des Factors $\frac{2 k \gamma'}{k \gamma' + k' \gamma}$. Alle früher aus dieser Formel gezogenen Folgerungen und

Tabellen gelten also auch hier, vor allem der Satz, dass die Zeit des Eintretens der Maximalgeschwindigkeit $\frac{\lambda^2}{6\gamma^2}$ beträgt; und nur die absoluten Beträge der Erwärmung sind hier mit $\frac{2}{1+\frac{k'\gamma}{k\gamma'}}$ zu multipliciren.

Dasselbe Resultat für sehr kleine Zeiten findet sich auch unter den Annahmen $\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{\lambda}{\lambda'}$; $\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{2\lambda}{\lambda'}$; $\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{3\lambda}{\lambda'}$, und endlich lässt sich überhaupt allgemein zeigen, dass, wofern nur $\frac{\gamma}{\gamma'}$ zu $\frac{\lambda}{\lambda'}$ in einem rationalen Verhältniss steht, die Sätze über die Geschwindigkeit gültig bleiben. Hieraus folgt offenbar aus Rücksicht auf Continuität ihre allgemeine Gültigkeit bei beliebigen k', λ', γ'.

Versuche über Schutzimpfung auf chemischem Wege.

Von

L. C. Wooldridge.

Bei einer anderen Gelegenheit[1] habe ich die Vorstellung ausgeführt, dass Blutplasma als lebendes Protoplasma, Blut als ein verflüssigtes Gewebe zu betrachten sei. In dieser Allgemeinheit hingestellt scheinen die Sätze wenig zu beweisen; ich bin aber überzeugt, dass ihnen ein nicht unbedeutender heuristischer Werth innewohnt. Es kann nicht bezweifelt werden, dass von allen Substanzen und Säften des Körpers, das Blut noch am ehesten in der Zusammensetzung isolirbar ist, welche es innerhalb des lebenden Organismus besitzt. Es lässt sich in ausreichender Menge und in flüssigem Zustande gewinnen, also in einer Form, in welchen es chemischen Einwirkungen unmittelbar zugänglich ist. Die physiologische Chemie scheint mir von diesen Vortheilen bisher zu wenig Gebrauch gemacht zu haben.

Es ist bekannt, dass gewisse zymotische Erkrankungen sich vorzüglich im Blute abspielen, wobei es bald zu Vergiftungserscheinungen und localisirten Krankheitsprocessen kommt, bald zur Abwehr der Keime, verbunden mit einer längere Zeit dauernden Schutzwirkung gegen erneute Ansteckung. Nun bin ich bei meinen Untersuchungen über die Gerinnung des Blutes auf Erscheinungen gestossen, welche mit den genannten Vorgängen eine unleugbare Verwandtschaft zeigen und die Hoffnung erwecken, dem Chemismus der zymotischen Erkrankung näher zu treten. Dadurch wurde ich veranlasst, Flüssigkeiten, welche den Gewebssäften nahestehen, als Culturflüssigkeit zu benutzen und die Veränderungen zu verfolgen, welche sie durch das Wachsthum der Pilze erleiden. Die Erfahrungen, welche ich dabei gesammelt habe, scheinen mir in verschiedener Richtung von Interesse zu

---

[1] Blood plasma as protoplasma. *Arris and Gale lectures.* June 1886.

sein, so dass ich mich für berechtigt halte, schon jetzt eine kurze Mittheilung zu geben, obwohl meine Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind.

Ich bin meinem verehrten Lehrer Hrn. Prof. C. Ludwig in Leipzig zu Dank verpflichtet, dass er mir gestattet hat, einige der unten angeführten Versuche in seinem Laboratorium anzustellen.

1) Die Wirkung des Gewebsfibrinogen auf das Blut.

Jedes wässrige Extract frischer Gewebe (am besten Thymus oder Testis) kann als eine Lösung von Gewebsfibrinogen betrachtet werden. Zur Reinigung der Rohlösung fällt man mit etwas Säure, wäscht den Niederschlag und löst ihn in sehr verdünntem Alkali (Natronhydrat oder Soda). Die Infusion dieser gereinigten, schwach alkalischen Lösung in die Vene eines Kaninchens, bringt eine totale Thrombosirung des gesammten Gefässgebietes hervor. Beim Hunde dagegen treten Thrombosen nur an gewissen bevorzugten Orten auf, insbesondere im Gebiet der Vena portae, wie ich es vor kurzem in diesem Archiv (s. oben S. 174) beschrieben habe. Die Hunde erholen sich daher meistens von dem Eingriff. Lässt man einige Stunden später eine viel grössere Menge der Lösung neuerdings in die Vene einfliessen, so bekommt man so gut wie gar keine Wirkung. Durch die erste Einspritzung ist also nicht nur der genannte, constant eintretende, locale Gerinnungsvorgang eingeleitet worden, sondern es ist gleichzeitig das Blut in einen Zustand von Ungerinnbarkeit versetzt worden, welcher je nach der Menge der ersten Einspritzung verschieden lange, unter Umständen mehrere Tage anhalten kann. Thrombosirung und verminderte Gerinnbarkeit stehen quantitativ mit einander in Beziehung. Bei Infusion kleiner Mengen giebt es nur geringfügige Thrombosen und das entlassene Blut gerinnt träge. Nach Infusion grosser Mengen finden sich ausgebreitete Gerinnsel und das aus der Ader gelassene Blut gerinnt äusserst schwer.

Zur Erläuterung des Gesagten erlaube ich mir zwei Versuche anzuführen.

I. 40 ^{ccm} einer Lösung von ganz frisch dargestelltem Gewebsfibrinogen werden einem Hunde von $5^1/_2$ Kilo in die Jugularis gespritzt. Nach 1 bis 2 Minuten ein unbedeutender Krampfanfall und Aussetzen der Athmung. Nach Ablauf von 3 Minuten trat die Athmung wieder ein, hörte aber nach weiteren 5 Minuten neuerdings auf und kam nicht wieder. Das Thier wird sogleich secirt: Die Vena portae und alle in die Leber gehenden Zweige derselben waren vollständig thrombosirt; ebenso die meisten Mesenterialvenen, besonders stark die Milzvene. Die Lymphgefässe der Leber waren voll von Blut; unterhalb des Peritonealüberzuges der Gallenblase

fand sich Blut diffundirt. In der Leber zeigten sich haemorrhagische Infarcte, welche in dem sonst blassen Organ deutlich hervortraten. Im rechten Herzen war ein faseriges und geschrumpftes Gerinnsel (das Thier war in voller Verdauung. Vgl. *dies Archiv* 1888 S. 181). Sonst war von Gerinnseln nichts zu bemerken. Das Blut aus dem Herzen wurde gesammelt und da es spontan nicht gerann, centrifugirt. Das Plasma gerann bei weiterem Zusatz von Gewebsfibrinogen und ebenso bei Zusatz von Leukocyten aus Lymphdrüsen. Sich selbst überlassen gerann das Blut erst nach 24 Stunden.

II. Hund von 7 Kilo Gewicht, in Verdauung begriffen, erhält um 11^{h} 40 Vorm. 50^{ccm} derselben Lösung injicirt. Körpertemperatur vor der Injection 38° C. Gleich nach der Injection Krampf, Stocken der Athmung, Puls in der Cruralis nicht fühlbar. Das Thier erholt sich rasch und wird losgebunden. Nach dem Erwachen aus der (Chloroform- und Aether-) Narkose dauert es lange, bis es wieder auf den Hinterbeinen gehen kann. Um 3^{h} 30 wird das Thier wieder narkotisirt (Körpertemperatur 40·1°) und erhält 50^{ccm} einer ungefähr doppelt so starken Lösung eingespritzt. Es tritt ein kaum merkbarer Krampf ein, die Athmung geht ruhig fort. Nach 5 Minuten wird die Carotis geöffnet, das Blut strömt unter hohem Druck aus und es hat keine Schwierigkeit 280^{ccm} zu sammeln. (Dagegen sinkt wie ich schon früher angegeben habe, bei einer ersten Injection der Blutdruck bis fast auf Null.)

Das Thier wird durch Chloroform getödtet. Es findet sich in der Vena portae ein geschrumpfter, an den Rändern bereits weisslicher Thrombus von 2 bis 3^{cm} Länge. Nach oben setzt er sich in mehreren Aesten in die Leber hinein fort. Nach unten verlängert er sich in einen sehr dünnen, weisslichen, central liegenden Fibrinfaden, nicht dicker als gewöhnlicher Nähzwirn. Solche Fäden sind auch in den Mesenterialvenen zu finden, ebenfalls bereits deutlich entfärbt. Die Milzvene enthielt einen grossen, geschrumpften und zum Theil entfärbten Thrombus.

Nach sehr sorgfältiger Untersuchung fand ich zwei Mesenterialvenen, welche frische Gerinnsel enthalten. Das rechte Herz enthält eine kleine Menge faserigen völlig entfärbten Gerinnsels. Die Lungenarterie, linkes Herz, Vena cava, Armvene, Vena iliaca enthalten völlig flüssiges Blut. Die Leber zeigt ganz unbedeutende haemorrhagische Flecken. Die Nieren zeigen makroskopisch keine Abnormitäten. Der Harn ist mit Methaemoglobin gefärbt, welches, wie ich geneigt bin anzunehmen, von den entfärbten Gerinnseln herstammt. Die anderen Organe zeigen nichts Abnormes.

Das Blut wird centrifugirt. Das Plasma war in sehr geringem Grade fettig, so dass es in grossen Quantitäten etwas weisslich aussah. In dünnen Reagensgläsern war es ganz klar.

Das Plasma zeigte folgende Eigenschaften.

Mit Gewebsfibrinogen versetzt gerinnt es nicht in sechs Stunden (Zeit der Beobachtung). Mit Leukocyten aus Lymphdrüsen keine Gerinnung nach sechs Stunden (Zeit der Beobachtung). Mit einer sehr wirksamen Lösung von Fibrinferment keine Gerinnung in fünf Stunden. (Es werden zu 10 ccm Plasma 5 ccm der Fermentlösung gesetzt. 2 ccm derselben Lösung brachten 25 ccm verdünntes Bittersalzplasma in 15 Minuten zur Gerinnung.) Mit Lecithin tritt rasch eine Spur von Gerinnung ein, welche aber später nicht zunimmt. Mit Peptonplasma sehr langsam eintretende und unvollkommene Gerinnung.

Dass das Plasma von dem eingespritzten Gewebsfibrinogen nichts mehr enthält, geht aus folgender Reaction hervor. Die Lösung des Gewebsfibrinogen giebt nach starker (25facher) Verdünnnng und nach dem Ansäuern mit Essigsäure ($^1/_2$ ccm Essigsäure von 35 Procent auf 2 ccm der Fibrinogenlösung) einen deutlichen und bleibenden Niederschlag. Plasma in derselben Weise behandelt bleibt vollkommen klar, ist auch nach drei Tagen noch flüssig.

Trotzdem enthält das Plasma noch viel Fibrinogen. Mit verdünnter Schwefelsäure (0·4 Procent) bis zu stark saurer Reaction versetzt, giebt es eine voluminöse Fällung. In einer anderen Portion des Plasma's wird das Fibrinogen in bekannter Weise mit Kochsalz ausgefällt, der Niederschlag mit gesättigter Kochsalzlösung bis zum Verschwinden der Eiweissreaction gewaschen, entsalzt, getrocknet und gewogen. Ich fand 0·93 Procent Fibrinogen.

Bedenkt man, dass der grösste Theil des Blutes flüssig geblieben ist und nur in der Portal- und Milzvene grössere Thromben gebildet worden sind, in deren Zusammensetzung das eingespritzte Gewebsfibrinogen wahrscheinlich zum grössten Theil eingegangen ist, so wird der Gehalt des Blutes an Fibrinogen nicht überraschen. Merkwürdig bleibt aber, dass die der ganzen Blutmenge zugeführte Lösung gleichwohl nur an gewissen Oertlichkeiten krankhafte Processe hervorruft und dass die erste Injection das Fibrinogen des Blutes so verändert, dass es sich gegen eine zweite Injection sowohl innerhalb des Thieres wie ausserhalb indifferent verhält.

2. Verwendung des gekochten Gewebsfibrinogens als Culturflüssigkeit. Versuche mit Anthrax.

Um die Veränderungen zu studiren, welche Lösungen des Gewebsfibrinogen durch pathogene Pilze erfahren, schien mir die Wahl einer rasch und sicher wirkenden aërobischen Pilzart von Wichtigkeit zu sein. Ich habe daher meine Versuche vorläufig auf den Bacillus anthracis beschränkt.

Die Aussaat der Pilze geschah stets erst nachdem die Fibrinogenlösung durch Kochen sterilisirt worden war. Die Flüssigkeit erleidet dabei Aenderungen ihrer chemischen Beschaffenheit sowohl, wie ihrer physiologischen Wirksamkeit, welche ich vorerst beschreiben will.

Die gekochte Lösung hat die Fähigkeit verloren, innerhalb des kreisenden Blutes Gerinnung zu erzeugen, dagegen bleibt ihre Wirksamkeit auf extravasculäres Plasma, z. B. Peptonplasma, bestehen.

Beim Kochen wird gewöhnlich eine grössere oder geringere Menge des Gewebsfibrinogens coagulirt. Das Coagulum kann nicht als gewöhnliches geronnenes Eiweiss aufgefasst werden; denn das durch Kochen coagulirte Fibrinogen besitzt in hohem Grade die Fähigkeit in Peptonplasma Gerinnung einzuleiten. In Bezug auf die Menge und Beschaffenheit des Coagulums verhalten sich verschiedene Lösungen durchaus nicht gleichartig.

Man kann drei Fälle unterscheiden.

Entweder coagulirt ein grosser Theil oder die Flüssigkeit wird opalescent, oder endlich sie wird nicht merklich verändert. Das verschiedene Verhalten hängt sicherlich, aber nicht ausschliesslich, von dem Gehalt der Lösung an Alkali ab. Durch einen gewissen Grad der Alkalescenz lassen sich immer Lösungen herstellen, welche durch Kochen nicht verändert werden. Wieviel Alkali aber dazu gehört, das lässt sich gegenwärtig gar nicht allgemein angeben, weil das Gewebsfibrinogen ein sehr veränderlicher Körper ist und weil die Extracte, welche aus verschiedenen Thymus (bez. Testes) gewonnen sind, nicht als gleichwerthig angesehen werden können.

Der Bequemlichkeit halber werde ich solche Lösungen, welche beim Kochen keine merkliche Veränderung erleiden, als stark alkalische Lösungen bezeichnen. Man muss verstehen, dass diese Bezeichnung nur relativ ist, d. h. dass bisweilen die Lösungen wirklich eine stark alkalische Reaction geben, bisweilen nur ganz schwache.

Das verschiedene Verhalten der gekochten Fibrinogenlösung kommt auch bei ihrem Gebrauch als Culturflüssigkeit zur Geltung. In den „stark alkalischen“ Lösungen wachsen die Anthraxbacillen sehr rasch und reichlich und sie zeigen sich, wenn man sie nach mehrtägiger Züchtung auf ein Thier überimpft, sehr giftig. Die Flüssigkeit selbst ist aber nicht giftig. Sie lässt sich sehr leicht mittels eines gewöhnlichen Papierfilters von den Pilzen trennen, welche eine gerinnselartige Masse von langen Fäden bilden. Das Filtrat kann ohne Schaden in die Vene eines Kaninchens injicirt werden. Das Thier ist durch die Injection auch nicht immun geworden. Es stirbt nach der üblichen Frist, wenn es mit Anthraxblut subcutan inoculirt wird.

Ganz anders verhalten sich „schwach alkalische“ Lösungen. In ihnen wachsen die Anthraxbacillen bisweilen gar nicht oder sie wachsen bis zu

einem gewissen Grade und verlieren ihre Giftigkeit, oder sie erschöpfen rasch das Proteïd der Flüssigkeit und sind immer noch sehr giftig.

Mit solchen „schwach alkalischen" Culturen ist es mir nun schon wiederholt möglich gewesen, Kaninchen immun gegen Anthrax zu machen; die Pilze dürfen aber nicht mit in das Blut gespritzt werden. Man kann sie von der Flüssigkeit durch Filtriren trennen, wie das soeben beschrieben wurde. Das Verfahren ist indessen bei den spärlich gediehenen Culturen unsicher und man thut besser, die Pilze durch Kochen zu tödten. Dabei zeigt sich, dass die Flüssigkeit, welche, wie beschrieben, schon vor der Aussaat gekocht worden war und dabei die in der Hitze gerinnenden Stoffe abgeschieden hatte, nun wieder empfindlich geworden ist gegen das Kochen und mehr oder weniger Neigung zeigt zu gerinnen. Auf diese Veränderung wird sogleich weiter eingegangen werden.

Spritzt man die neuerdings pilzfreie Lösung in die Vene des Thieres, so wird es in der Regel immun gegen Anthrax, d. h. man kann es sogleich oder später mit giftigstem Anthraxblut ohne Schaden subcutan impfen. Ich habe eine grössere Zahl von Thieren auf diese Weise immun gemacht, so dass an der Richtigkeit der Beobachtung kein Zweifel bestehen kann. Die schützende Wirkung dauert sehr lange, bei einem Thiere konnte ich sie noch nach fünfzehn Monaten nachweisen.

Die beste Methode, die Protection zu erzielen, ist folgende: Man kocht den wässerigen Organauszug der Thymus, oder die sehr schwach alkalische Lösung des Essigsäureniederschlags, verdünnt mit Wasser und filtrirt durch Leinen. Hierauf wird Anthrax ausgesät und die Cultur zwei bis drei Tage im Brütkasten gelassen. Nun wird ohne vorheriges Filtriren gekocht, um die Bacillen zu tödten. Zeigt hierbei die Flüssigkeit Neigung, fest zu gerinnen, so muss Alkali zugesetzt werden. Nach dem Kochen wird abermals durch Leinen filtrirt. Damit ist die Flüssigkeit zur Schutzimpfung fertig.

Mit derartig zubereiteten Flüssigkeiten habe ich in einer Versuchsreihe von neun Kaninchen acht gegen Milzbrand geschützt. In dem neunten gerann bei dem Kochen der Cultur das Proteïd zum grössten Theil so fest, dass es sich nicht filtriren liess und deshalb eine fast eiweissfreie Flüssigkeit zur Infusion kam. Culturen, in welchen beim Kochen das Gewebsfibrinogen so vollständig gerinnt, dass sie klare Filtrate geben, aus welchen durch Essigsäure kein Proteïd mehr ausgefüllt werden kann, sind unbrauchbar. Durch die Infusion solcher Lösungen erfährt der Verlauf des Impfmilzbrandes keine Veränderung.

Ich berichte nachstehend über zwei Versuche, welche zu besonderen Zwecken angestellt wurden; sie mögen gleichzeitig zur genaueren Beschreibung des Verfahrens dienen.

1) 10. November 1887. Das wässrige, schwach alkalische Extract einer Thymus giebt beim Kochen ein ansehnliches Coagulum. Das Filtrat ist opalescirend und enthält reichlich mit Essigsäure leicht fällbares Proteïd. Die Flüssigkeit wird sterilisirt und mit Anthrax besät. Nach dreitägigem Stehen im Brütkasten haben sich die Pilzfäden als eine gerinnselartige Masse am Boden abgesetzt. Die überstehende Flüssigkeit wird abgehoben, filtrirt und gekocht. Mit dieser Lösung werden zwei Kaninchen geimpft.

Kaninchen I von 4 Pfund Gewicht erhält 30 ccm in die Jugularvene gespritzt. Es wird hierauf sogleich subcutan geimpft mit dem Herzblut eines an Anthrax gestorbenen Meerschweinchens.

Kaninchen II von $2^1/_2$ Pfund Gewicht erhält 25 ccm der Lösung in mehreren Portionen unter die Haut verschiedener Körperstellen injicirt. Endlich wird es mit demselben Blute wie Kaninchen I subcutan geimpft. Gleichzeitig wird ein Meerschweinchen mit dem Blute geimpft.

12. November. Das Meerschweinchen wird todt gefunden.

13. November. Kaninchen II wird todt gefunden.

16. November. Kaninchen I ist wohl. Es wird neuerdings ohne Schaden mit Milzbrand geimpft. Es lebt noch jetzt (6 Monate später).

Daraus muss geschlossen werden, dass die subcutane Injection der Fibrinogenlösung nicht schützt.

2) 28. April 1888. Das wässrige Extract einer Thymus giebt beim Kochen deutliche Fällung. Nach Zusatz von Wasser wird durch Leinen filtrirt. Das stark opalescirende Filtrat wird nach wiederholtem Kochen mit Anthrax besät. Nach zweitägigem Stehen im Brütkasten wird die Cultur, in welcher die Pilze reichlich gewachsen sind, ohne vorher zu kochen durch Papier filtrirt. Die Flüssigkeit geht zuerst trübe durch. Sehr bald werden aber die Poren des Filters verstopft und die Lösung geht klar hindurch. Es wird daher das Filter öfters gewechselt, damit das Filtrat nicht zu arm an Eiweiss werde. Die gesammelten Filtrate sind stark opalescirend und enthalten Anthraxbacillen.

A. Ohne vorheriges Kochen werden 40 ccm einem Kaninchen in die Jugularvene gespritzt. Gleichzeitig wird es im Ohr mit Milzbrandblut geimpft. Das Thier ist todt am 1. Mai. Das Ohr nicht oedematös, dagegen Oedem der Bauchhaut. Blut voll Bacillen.

B. 30 ccm der Lösung werden durch mehrere Minuten gekocht und durch Leinen filtrirt. Das Filtrat wird einem zweiten Kaninchen in die Vene gespritzt. Gleich hinterher wird das Thier mit Milzbrand geimpft. Ausser einer sehr kleinen Röthung an der Impfstelle ist kein Erfolg zu bemerken. Eine zweite Impfung bleibt ebenso wirkungslos. Es scheint dass die Flüssigkeit nur gegen subcutanen Milzbrand schützt.

3. Veränderungen des Gewebsfibrinogen durch Kochen. Schutzimpfung ohne Anthrax.

Die soeben mitgetheilten Beobachtungen scheinen mir einen Einblick in das Wesen der Schutzimpfung zu gewähren. Man ist gegenwärtig geneigt anzunehmen, dass die pathogenen Pilze gefährlich werden durch die Gifte, welche sie produciren, und es kann nicht bezweifelt werden, dass sie im Stande sind, in gewissen Culturflüssigkeiten alkaloïdartige Stoffe zu bilden. Ob sie dasselbe aber auch im thierischen Körper thun, kann wohl in Frage gestellt werden. Sie entfalten hier ihre Wirkung auf die Gewebe und man kennt keine künstliche Lösung, welche in Bezug auf ihre chemischen Eigenschaften den Geweben gleichgestellt werden könnte. Immerhin ist zu bedenken, dass sich fast aus allen Geweben Substanzen gewinnen lassen, welche dem Fibrinogen des Blutes ausserordentlich verwandt sind und mit ihm gerinnen, genau so wie das Blut gerinnt, wenn es nach Zerreissung oder Verletzung der Gefässwand in die Gewebe eindringt. Nachdem ich nun gefunden hatte, dass die Lösungen des Gewebsfibrinogens auch nach dem Kochen noch einen Theil ihrer physiologischen Eigenschaften zurückbehalten, so schien mir eine solche Flüssigkeit viel besser zum Vergleich geeignet, als die gebräuchlichen Peptonlösungen. Es hat sich nun gezeigt, dass eine Fibrinogenlösung selbst nach sehr reichlichem Wachsthum von Anthrax keine giftigen Eigenschaften entfaltet. Sie kann ohne Schaden in grosser Menge in's Blut gespritzt werden. Gewöhnlich tritt in Folge dessen Immunität auf und man könnte zu der Vorstellung neigen, dass die Pilze einen schützenden Stoff ausscheiden. Die Erscheinungen sprechen aber nicht für eine solche Annahme. Erstens ist die schützende Wirkung durchaus nicht proportional der Vermehrung der Pilze. Im Gegentheil sind diejenigen Culturen, in welchen die Pilze am üppigsten gedeihen, oft ganz wirkungslos. Zweitens hat sich die schützende Kraft davon abhängig gezeigt, dass in der Flüssigkeit eine gewisse Menge des Fibrinogens, wenn auch in verändertem Zustande, verbleibt.

Es hat somit den Anschein, als ob die Pilze ihre Wirkung dadurch entfalteten, dass sie das vorhandene Proteïd in einer gewissen Weise modificiren. Dass das Fibrinogen der Cultur durch die Pilze verändert wird, geht schon aus den oben gemachten Angaben hervor und soll hier durch einen besonderen Versuch gezeigt werden:

Eine zerkleinerte Thymus wird mit destillirtem Wasser angesetzt, nach 24 Stunden das Extract colirt und mit wenigen Tropfen Natronlauge versetzt, bis die Reaction mit neutralem Lakmuspapier eben alkalisch ist. Es wird gekocht, gleich nach dem Kochen die gleiche Menge destillirtes Wasser zugesetzt und durch Leinen filtrirt. Das Filtrat ist milchig opalescent. Nach Zugabe von noch zwei Tropfen Natronlauge wird die

Flüssigkeit in einer sterilisirten Flasche wiederholt gekocht. Die Reaction war eben alkalisch. Jetzt wird Anthrax ausgesät. Nach zweitägigem Stehen im Brütkasten lässt sich unter dem Mikroskope ein reichliches Wachsthum langer Anthraxfäden nachweisen. Die Reaction ist eben alkalisch. Nun wird wieder gekocht und es zeigt sich, dass dabei die ganze Menge des Proteïds zu einer festen Masse gerinnt. Durch Zusatz von wenig Alkali lässt sich dies nicht verhindern. Erst wenn die Lösung stark alkalisch gemacht wird, bleibt ein Theil des Fibrinogens aufgequollen.

Die Anthraxbacillen verändern also die Lösung des Gewebsfibrinogens der Art, dass sie gegen das Kochen wieder empfindlich wird, wahrscheinlich indem gewisse Mengen des Fibrinogens, welche früher der Gerinnung widerstanden haben, nun doch hineingerissen werden. Hierzu scheint es nur eines geringen Anstosses zu bedürfen, da ein spärlicher Wuchs von Pilzen oft genügend ist. Bei der ausserordentlich labilen Beschaffenheit dieser Proteïde schien mir daher die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dieselbe Modification auch ohne Anthrax zu erhalten. Ich habe schon oben erwähnt, dass Lösungen von Gewebsfibrinogen verschiedener Provenienz sich sehr ungleichartig verhalten. Von Wichtigkeit ist ferner das Verfahren, welches man einschlägt, um die gekochte und theilweise geronnene Lösung zu filtriren. Ich führe folgenden Versuch an: Man lässt fein gehackte frische Thymus unter gelegentlichem Umrühren 24 Stunden mit destillirtem Wasser stehen und centrifugirt dann ab. Wird die Lösung ohne weiteren Zusatz gekocht, so geht das Fibrinogen in die coagulirte Form über, theils in Gestalt eines flockigen, zusammengeschrumpften, gerinnselartigen Niederschlags, theils in Gestalt einer aufgequollenen Masse, welche die Flüssigkeit opalescent macht. Auf Zusatz von geringen Quantitäten Alkali wird der fester geronnene Theil vermindert und der aufgequollene vermehrt. Wenn man eine solche Lösung durch ein gutes Papierfilter laufen lässt, so ist das erste Filtrat trübe und enthält Fibrinogen; dasselbe fällt aus sobald man der Flüssigkeit eine deutlich saure Reaction ertheilt. Sehr bald verstopfen sich aber die Poren des Filters und die späteren Portionen des Filtrates sind wasserklar; sie enthalten geringfügige Spuren von Eiweiss, aber kein Fibrinogen mehr, denn beim Ansäuern tritt erst Fällung ein, wenn die kalte Flüssigkeit etwa mit der halben Menge 35 procentiger Essigsäure versetzt ist, und noch schwieriger ist die Ausfällung durch Säure in der Hitze.

Man sieht, dass je nach der Dichtigkeit des Filters, dem Grade der Aufquellung, der Menge und Art des festen Coagulums, das Filtrat einer gekochten Fibrinogenlösung sehr verschieden sein muss. Bei meinen ersten Versuchen über Schutzimpfung [1] habe ich viele dieser Umstände nicht ge-

[1] *Proceedings of the Royal Society.* 1887; — *Report of the Medical Officer to the Houses of Parliament.* 1887.

kannt, namentlich den grossen Einfluss des Filtrirens. Ich hatte gefunden, dass eine Fibrinogenlösung, in welcher Anthrax gewachsen ist, die Fähigkeit besitzt, Kaninchen immun gegen Impfmilzbrand zu machen, wenn sie in die Vene des Thieres injicirt wird. Da ich eine gleiche Schutzwirkung durch eine gekochte Fibrinogenlösung, welche nicht als Culturflüssigkeit gedient hatte, nicht beobachtet hatte, so war ich natürlich der Meinung, dass die Mitwirkung der Bacillen nöthig sei.

Nachdem ich aber gelernt hatte, dass die Schutzwirkungen an das Vorhandensein des leicht fällbaren Fibrinogens gebunden ist, und dass dasselbe in verschiedenen Modificationen vorkommen kann, so schien mir die Möglichkeit, die schützende Modification ohne Mitwirkung der Bacillen herzustellen, durchaus nicht ausgeschlossen. Es handelte sich offenbar darum, die Fibrinogenlösung mit möglichst geringem Zusatz von Alkali, d. h. in einem hitzeempfindlichen Zustand zu kochen, sie aber doch nicht so fest coaguliren zu lassen, dass ein fibrinogenfreies Filtrat entsteht. Die Vorschrift muss so unbestimmt gehalten sein, weil die wässrigen Extracte selbst schon nicht als einheitlich angesehen werden können. So lange es nicht gelingt, die wirksamen Proteïde zu isoliren, wird man eben in jedem Falle etwas anders verfahren müssen und man wird auch nicht erwarten können, dass die Resultate ganz sichere sein werden.

In den ersten Versuchen, welche ich angestellt habe, zeigte es sich, dass durch die Injection einer auf die angegebene Weise bereiteten Fibrinogenlösung, in welcher kein Anthrax gewachsen war, die Thiere zwar nicht immun geworden waren, aber dem Impfmilzbrand später erlagen als gewöhnlich. Die Incubationsdauer dehnt sich unter Umständen auf eine Woche aus, während sie sonst zwei bis drei Tage zu währen pflegt.

In zwei Fällen ist es mir aber nunmehr gelungen, Kaninchen gegen Impfmilzbrand vollständig immun zu machen durch Injection von gekochtem Gewebsfibrinogen, in welchem kein Anthrax ausgesät worden war. Das Fibrinogen ist in ziemlich stark coagulirtem Zustand injicirt worden, d. h. das durch Kochen erhaltene Coagulum wurde durch Leinwand gedrückt, so dass die colirte und zur Injection verwendete Flüssigkeit zahlreiche Theilchen des geronnenen Fibrinogens suspendirt enthielt.

Ich hoffe in der Lage zu sein, bald weitere Erfahrungen mitzutheilen und die Versuchsbedingungen schärfer angeben zu können. Bei der Wichtigkeit, die mir die Befunde für die Frage der Schutzimpfung zu haben scheinen, glaubte ich schon jetzt eine Darstellung meiner bisherigen Resultate geben zu sollen.

Guy's Hospital, Juni 1888.

Untersuchungen zur Mechanik des quergestreiften Muskels.

Dritte Mittheilung.

Ueber den zeitlichen Verlauf summirter Zuckungen.[1]

Von

J. v. Kries.

Nach Versuchen der HH. A. Bürkle und E. Thoma.

In einer unlängst erschienenen Notiz[2] theilte ich mit, dass bei summirten Zuckungen das Maximum der Zusammenziehung in auffallend kurzer Zeit nach dem Moment des zweiten Reizes erreicht wird, in einer viel kürzeren namentlich, als bei einer einfachen Zuckung zwischen Reiz und Zuckungsgipfel liegt. Eine genauere Verfolgung dieser Erscheinung schien mir namentlich im Hinblick auf den Umstand lohnend, dass eine ganz ähnliche zeitliche Annäherung des Zuckungsgipfels an den Reiz auch auf andere Weise bewirkt werden kann; sie tritt nämlich, wie ich das früher gefunden habe,[3] allemal auch dann ein, wenn man die Zuckungshöhe bei einfacher Reizung dadurch steigert, dass man das Gewicht vor der Thätigkeit des Muskels unterstützt, die Belastung also ganz oder theilweise in Ueberlastung umwandelt. Es liegt nahe, beide Erscheinungen in Verbindung zu bringen, und auch bei der summirten Zuckung die Verfrühung

[1] Die nachstehende Mittheilung ist durch die Arbeit v. Frey's, „Ueber zusammengesetzte Muskelzuckungen", welche während des Druckes der meinigen in dem vorigen Hefte *dieses Archivs* (S. 213) erschien, in gewissem Sinne überholt worden. Der grösste Theil der von mir beschriebenen Thatsachen ist neben einer Anzahl anderer von v. Frey gleichfalls beobachtet, welcher überdies eine weit eindringendere theoretische Analyse der Erscheinungen versucht hat. Da indessen meine Darstellungs- und Beobachtungsweise von derjenigen Frey's doch vielfach verschieden ist, so hielt ich es nicht für geboten, meine Publication zu unterdrücken.

[2] *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B.* 1886. II. Hft. 2.

[3] Untersuchungen zur Mechanik des quergestreiften Muskels. *Dies Archiv.* 1880.

des Gipfels auf seine Erhöhung, auf die Vermehrung des Contractionsgrades zu beziehen, wie das in der That auch schon durch v. Frey geschehen ist.[1] Ich veranlasste daher die HH. cand. med. Bürkle und Thoma, die Dauer des Stadiums ansteigender Energie, welche sich bei summirten Zuckungen an den zweiten Reiz anschliesst, einer genaueren Untersuchung zu unterziehen, und namentlich zu prüfen, welcher Zusammenhang sich etwa zwichen dieser Dauer und den jedesmal erreichten Contractionshöhen herausstellt. Um mit einfachsten Verhältnissen zu beginnen, kann die Untersuchung zunächst auf die Reizung eines Muskels mit zwei maximalen Reizen erstreckt werden, wobei ja mit Variirung des Reizintervalls die Höhe der summirten Zuckung sich in einer wenigstens qualitativ hinreichend bekannten Weise verändert. Diejenige Grösse, auf weclchen sich die Untersuchung hauptsächlich richten sollte, der Zeitraum, um welche der Gipfel der summirten Zuckung hinter den zweiten Reiz fällt, mag im Folgenden kurz als die Gipfelzeit bezeichnet werden; nennen wir Gipfelhöhe die Erhebung über die Abscisse, welche im Myogramm der Gipfel der summirten Zuckung zeigt, so lässt sich kurz sagen, dass der Zusammenhang von Gipfelzeit und Gipfelhöhe Gegenstand der Untersuchung sein sollte.

Die Versuche wurden an nicht curarisirten Froschmuskeln, theils dem Gastrocnemius, theils dem vereinigten Semimembranosus und Gracilis ausgeführt, die Muskeln stets durch zwei Inductionsströme maximal gereizt. Es ist bei den hier in Anwendung kommenden Intervallen ohne Belang, ob beide Schläge in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung den Muskel durchsetzen. Ein Myographion mit leichtem Hebel und an der Axe angebrachtem Gewicht gestattete annähernd isotonische Zuckungen aufzuschreiben. Die Registrirung geschah auf die vorüberfallende Platte des Pendelmyographions, welches zugleich die Auslösung der beiden Reize besorgte. Von den beiden Contacten, welche das fallende Pendel jedesmal unterbrach, war der eine verschieblich, und zwar konnte er von derjenigen Stellung aus, bei welcher er mit dem anderen gleichzeitig geöffnet wurde, der Fallrichtung des Pendels entgegen verschoben werden. Demgemäss blieb denn im Myogramm die Stelle des zweiten Reizes stets dieselbe; der erste dagegen konnte durch Verschiebung des beweglichen Contacts mehr oder weniger weit von dieser entfernt werden. Auf diese Weise gestatten zwei oder mehrere mit verschiedenem Reizintervall ausgelöste summirte Zuckungen, welche auf dieselbe Abscisse geschrieben werden, ganz unmittelbar eine Vergleichung der Gipfelzeiten, indem man nur die Lage der Gipfel in den Myogrammen zu vergleichen braucht.

Es lässt sich nun zunächst beobachten (die Myogramme sind alle von links nach rechts gezeichnet), dass der Gipfel der summirten Zuckung, in

[1] v. Frey, Reizungsversuche am unbelasteten Muskel. *Dies Archiv*. 1887. S. 198.

dem er durch Variirung des Reizintervalls in die Höhe rückt, sich zugleich nach links verschiebt, dass also, mit anderen Worten, mit steigender Gipfelhöhe die Gipfelzeit abnimmt. Fig. 1 lässt dies für eine Reihe von aufsteigend summirten Zuckungen erkennen,[1] bei welcher mit Zunahme des

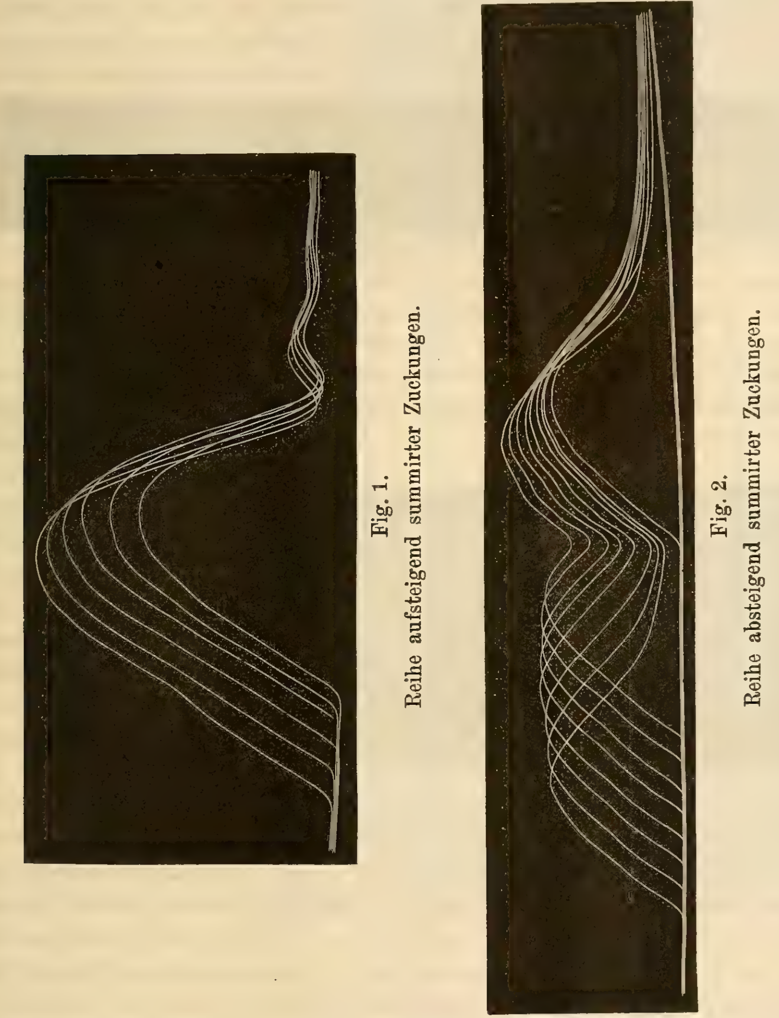


Fig. 1. Reihe aufsteigend summirter Zuckungen.

Fig. 2. Reihe absteigend summirter Zuckungen.

Reizintervalls die Höhe ansteigt; gleichermaassen Fig. 2 für absteigend summirte Zuckungen, bei welchen in bekannter Weise mit wachsendem Reizintervall die Höhe der summirten Zuckung sich vermindert.

[1] Ich will summirte Zuckungen, je nachdem der zweite Reiz den Muskel im Stadium aufsteigender oder absinkender Energie trifft, immer kurz als aufsteigend oder absteigend summirte bezeichnen.

Wünscht man die Beziehung zwischen Gipfelzeit und Gipfelhöhe genauer zu kennen, so wird die nächste aufzuwerfende Frage die sein, ob zwei Zuckungen gleicher Höhe, von welchen eine aufsteigend, die andere absteigend summirt ist, die gleiche oder verschiedene Gipfelzeit zeigen. Der Versuch zeigt ausnahmslos, dass das letztere der Fall ist; und zwar ist die Gipfelzeit der aufsteigend summirten Zuckung stets länger, als die der gleich hohen absteigend summirten. Ein Beispiel für dies Verhalten

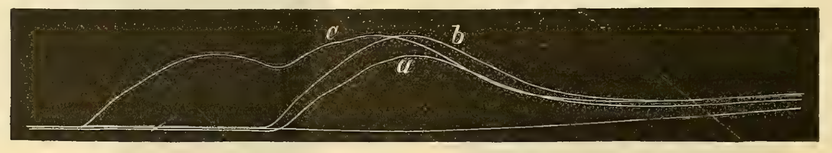


Fig. 3.
Zeitliches Verhältniss einer aufsteigend und einer absteigend summirten Zuckung gleicher Höhe (*b* und c); *a* einfache, durch den zweiten Reiz allein hervorgerufene Zuckung.

bietet Fig. 3; man erkennt hier die durch die Einwirkung des zweiten Reizes allein bewirkte (also nicht summirte) Zuckung *a*, die aufsteigend summirte *b* und die absteigend summirte *c*, und sieht, wie bedeutend der Gipfel der letzteren trotz gleicher Höhe nach links gegen den von *b* verschoben ist. Aehnlich sieht man in Fig. 4 den Gipfel der beiden absteigend summirten Zuckungen *b* und *c* beide links von dem der aufsteigend summirten Zuckung *a* gelegen. Das ganze Verhalten wird am übersichtlichsten, wenn man sich die sämmtlichen Myogramme, welche die Variirung des Reizintervalls vom grössten bis zum kleinsten Werth ergiebt, auf dieselbe Abscisse vereinigt, von jedem einzelnen aber nur den Gipfelpunkt angegeben denkt. Hat man eine hinreichende Zahl einzelner Punkte bestimmt, so kann man dieselbe zu einer Curve verbinden, welche eine Gipfelpunktcurve heissen mag, und welche den functionellen Zusammenhang zwischen Gipfelhöhe und Gipfelzeit vollkommen veranschaulicht. Eine derartige Gipfelpunktcurve sieht z. B. so aus, wie es die nebenstehende einem besonders gut gelungenen Versuch entnommene Fig. 5 zeigt. Längs dieser Curve verschiebt sich die Lage des Zuckungsgipfels in den Myogrammen und zwar, während das Reizintervall wächst, der erste Reiz

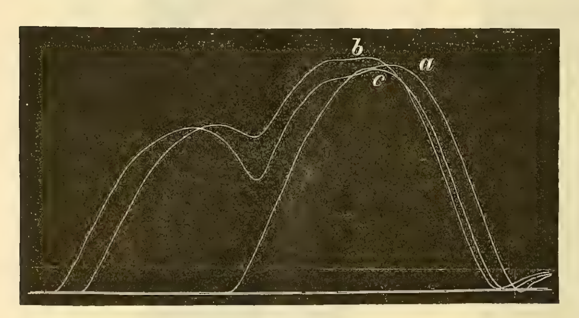


Fig. 4.
Zeitliches Verhältniss einer aufsteigend summirten Zuckung *a* und zweier absteigend summirten *b* und *c*.

also mehr und mehr nach links rückt, in der Richtung des Pfeils. Die soeben besprochene Thatsache, dass von zwei gleich hohen Zuckungen die aufsteigend summirte stets eine längere Gipfelzeit hat, als die absteigend summirte, kommt, wie unmittelbar ersichtlich, in der Gestalt der Gipfelpunktcurve in der Weise zum Ausdruck, dass dieselbe, nachdem sie zuerst nach links und aufwärts verlaufen ist, umbiegt und nicht wieder auf derselben Linie, sondern vielmehr auf einer tiefer gelegenen gegen den Ausgangspunkt zurückläuft. Eine Horizontallinie schneidet sie demgemäss in zwei Punkten, von welchen der der aufsteigenden Summirung entsprechende mehr rechts als der der absteigenden Summirung entsprechende liegt.

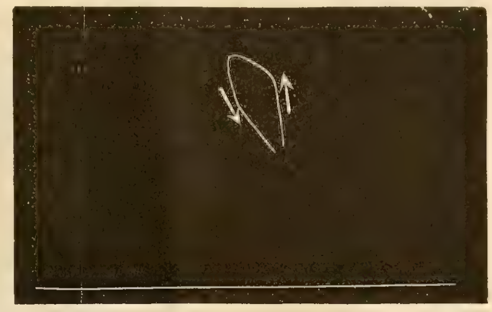


Fig. 5.
Curve, längs welcher bei allmählich nach links rückendem erstem Reiz die Lage der Zuckungsgipfel sich verschiebt. (Gipfelpunkt-Curve.)

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit einzelnen Theilen der Gipfelpunktcurve zu, so verdient zuvörderst der höchst gelegene Theil derselben Beachtung. Derselbe lässt durch seine Form erkennen, dass innerhalb einer gewissen Breite mit zunehmendem Reizintervall die Höhe der Zuckung nicht mehr wächst, gleichwohl aber der Gipfel noch nach links rückt, die Gipfelzeit sich verkürzt. Sehr deutlich zeigt das z. B. die Darstellung einer Reihe von Zuckungen in Fig. 6, in welcher die Höhe der Zuckung zunimmt und die Gipfelzeit sich entsprechend verkürzt, schliesslich aber (Zuckung α und β) eine weitere Verkürzung der Gipfelzeit stattfindet, ohne dass die Höhe sich noch vermehrt.

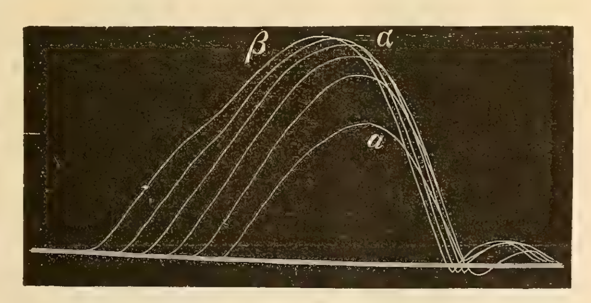


Fig. 6.
Reihe aufsteigend summirter Zuckungen; α und β sind von gleicher Höhe, aber der Gipfel von β mehr nach links gelegen.

Lässt man eine Anzahl von Zuckungen mit allmählich von Null an wachsendem Intervall aufschreiben, so sind die letzten im Allgemeinen mit der ersten nicht mehr ganz vergleichbar, weil sich der Muskel im Laufe des Versuchs ein wenig verändert hat. Wiewohl es also keinem Zweifel unter-

liegt, dass die Gipfelpunktcurve wieder gegen ihren Ausgangspunkt verläuft, so bedarf doch das Verhältniss von Anfang und Ende einer besonderen Feststellung, behufs welchem unmittelbar zwischen kleinstem und grösstem Intervall zu wechseln ist. Man darf erwarten, dass die Curve sich genau schliesst, da beim Intervall Null eine einfache Maximalzuckung erhalten wird, und gleichermaassen auch bei sehr grossem Reizintervall die durch den ersten Reiz ausgelöste Zuckung völlig abgelaufen ist und der zweite somit wieder eine gleiche maximale Zuckung auslöst. Selbstverständlich lässt es sich auch hierhin bringen, wenn man das Reizintervall hinlänglich gross macht. Wählt man das Intervall so, dass bei Einsetzen des zweiten Reizes die erste Zuckung nahezu aber noch nicht ganz abgelaufen ist, so sieht man in der Regel, dass der zweite Reiz eine nicht mehr erhöhte Zuckung, wohl aber immer noch ein etwas verkürztes Stadium aufsteigender Energie auslöst. Dies erkennt man z. B. in Fig. 7, wo α eine mit grossem Intervall summirte, β eine einfache Zuckung ist und somit zugleich die summirte

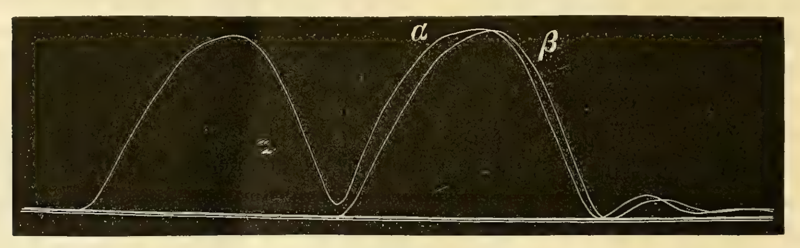


Fig. 7.

Zeitliches Verhältniss einer mit grossem Intervall summirten Zuckung und einer einfachen, durch den zweiten Reiz allein bewirkten.

bei Reizintervall 0 repraesentiren kann. Hieraus wird sich daher ergeben, wie das Schlussstück der Gipfelpunktcurve gestaltet ist; sie erreicht bei gewissen Reizintervallen einen Punkt, der mit dem Ausgangspunkt gleiche Höhe hat, aber noch etwas nach links von demselben liegt, und läuft dann horizontal gegen den Ausgangspunkt.

Von besonderem Interesse erschien es, die absteigend summirten Zuckungen an ermüdeten Muskeln zu studiren. Nach den Angaben von Kronecker und Hall[1] findet man hier nämlich öfter, dass die Höhenverhältnisse ein paradoxes Verhalten zeigen: diejenigen absteigend summirten Zuckungen, bei welchen der zweite Reiz kurz nach dem Gipfel der ersten Zuckung einsetzt, zeigen eine weit geringere Höhe, als man nach der Helmholtz'schen Regel erwarten sollte. Kronecker und Hall suchen den Grund der Erscheinung, gewiss mit Recht, in den Ermüdungsverhältnissen.

[1] Kronecker und Hall, Die willkürliche Muskelaction. *Dies Archiv.* 1878.

Es war nun von Interesse festzustellen, wie in solchen Verhältnissen die Gipfelzeit sich gestaltet. Eine ganz sichere Auskunft über diese Frage zu geben ist mir nicht möglich; doch scheint es, dass dem paradoxen Ver-

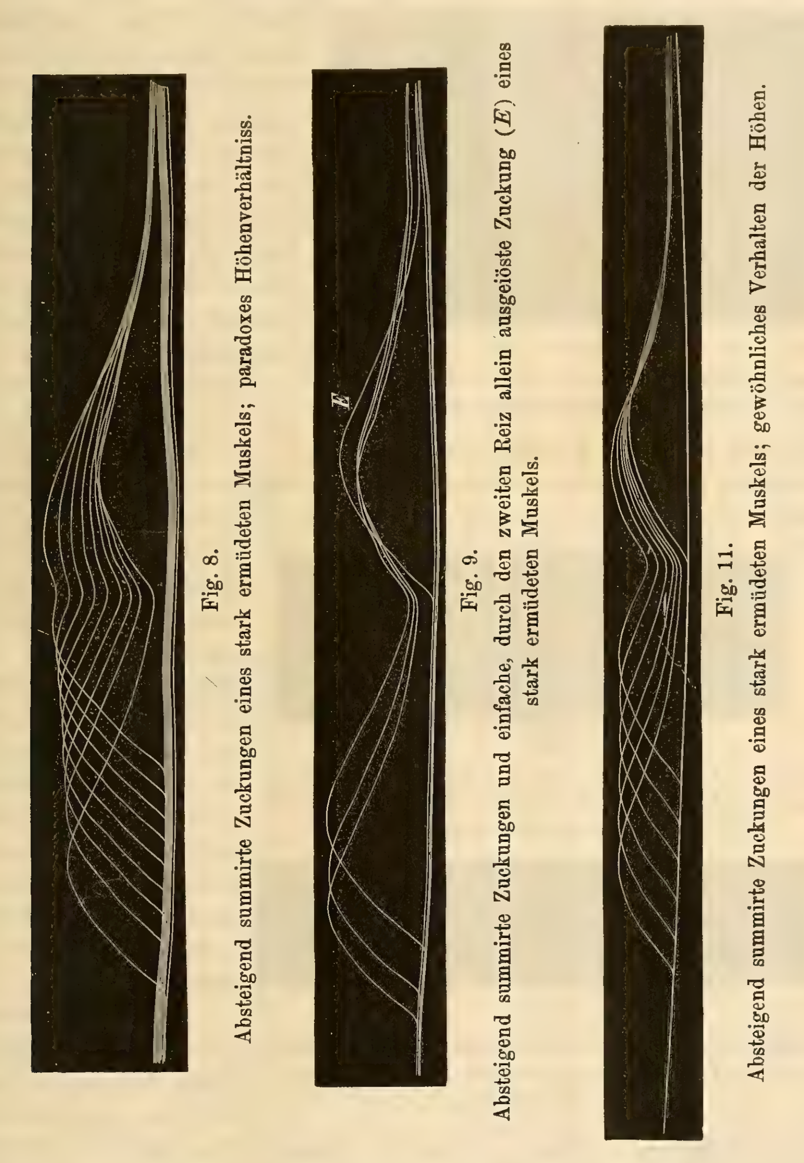


Fig. 8. Absteigend summirte Zuckungen eines stark ermüdeten Muskels; paradoxes Höhenverhältniss.

Fig. 9. Absteigend summirte Zuckungen und einfache, durch den zweiten Reiz allein ausgelöste Zuckung (E) eines stark ermüdeten Muskels.

Fig. 11. Absteigend summirte Zuckungen eines stark ermüdeten Muskels; gewöhnliches Verhalten der Höhen.

halten der Zuckungshöhen ein ähnliches paradoxes Verhalten der Gipfelzeiten nicht entspricht. Fig. 8 stellt einen Versuch dar, welcher die von Kronecker und Hall beschriebene Erscheinung zeigt; man sieht hier, dass

die mit grösstem Intervall summirte Zuckung einen höheren, dabei aber weiter rechts gelegenen Gipfel hat, als die mit dem zweitgrössten Intervall erzeugte. Aehnlich sieht man in Fig. 9, dass der zweite Reiz einen erheblich höheren, aber dabei weiter nach rechts liegenden Zuckungsgipfel, *E* der Figur, erzeugt, als die mit grossem Intervall summirten Zuckungen. Hieraus würde sich ergeben, dass auch in solchen Fällen die Gipfelzeiten in gewöhnlicher Weise sich mit dem Reizintervall ändern. Somit würde die Gipfelpunktcurve einen Verlauf wie die Fig. 10 aufweisen. Mit voller Sicherheit aber kann ich dies Verhalten deswegen nicht behaupten, weil ich die erwähnte Erscheinung nur ganz selten und auch da nur andeutungsweise, nicht in so praegnanter Form, wie Kronecker und Hall sie beobachteten, zu sehen bekommen habe. In der Regel zeigte mir auch der stark ermüdete Muskel ein Verhalten der absteigend summirten Zuckungen, welches sich von dem am frischen zu erhaltenden nicht wesentlich unterschied. Einen Beleg hierfür bietet z. B. die umstehende, von einem schon stark ermüdeten Muskel geschriebene Zuckungsreihe Fig. 11.

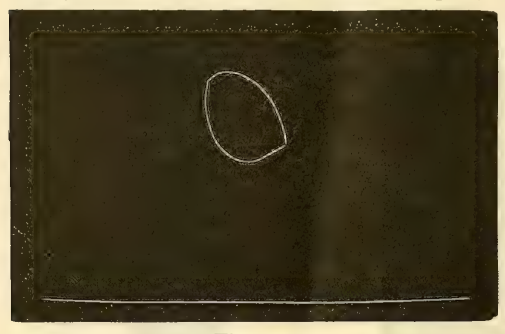


Fig. 10.
Gipfelpunktcurve des hochgradig ermüdeten Muskels bei paradoxem Höhenverhältniss. Schematisch.

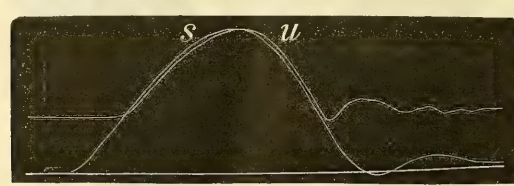


Fig. 12.
Zeitliches Verhältniss einer durch Unterstützung der Last und einer durch Summation erhöhten Zuckung (*U* und *S*) bei geringer Belastung.

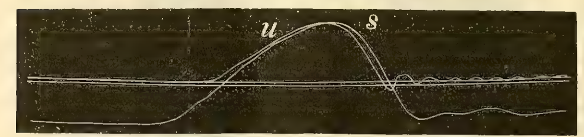


Fig. 13.
Zeitliches Verhältniss einer durch Unterstützung der Last und einer durch Summation erhöhten Zuckung (*U* und *S*) bei hoher Belastung.

Durch Anwendung aufsteigender und absteigender Summation kann man dem Gesagten zufolge Zuckungen gewinnen, welche bei gleicher Höhe ungleiche Gipfelzeit zeigen. Das Gleiche gelingt, wenn man die durch Summation erhöhte Zuckung vergleicht, mit der durch Unterstützung der Last erhöhten. Prüft man die letztere in etwas grösserem Umfange, so findet man, dass die Verkürzung

der Gipfelzeit besonders bei hohen Belastungen sich bemerklich macht, bei schwachen dagegen gering ist, selbst da, wo durch Unterstützung noch eine beträchtliche Erhöhung des Gipfels erzielt wird. Demgemäss kann denn auch die unterstützte Zuckung bald einen früheren bald einen späteren Gipfel aufweisen als die gleich hohe summirte. Das erstere Verhältniss erhält man bei hohen, das letztere bei geringen Belastungen. Figg. 12 und 13 dienen als Beleg hierfür. In beiden bezeichnet *S* die summirte, *U* die Ueberlastungszuckung.

Der zeitliche Verlauf der Muskelverkürzung erscheint insofern stets als ein nicht ganz günstiges Object theoretischer Analyse, als er das Ergebniss der jedenfalls nicht genau gleichzeitigen Thätigkeit der verschiedenen Theile des Muskels darstellt. Es war deswegen geboten zu prüfen, ob die Regeln, die für die Verkürzungen des Muskels gefunden wurden, auch für Verdickungen gelten, welche ja den Thätigkeitszustand eines kleinen Muskelstückes zu verfolgen gestatten. Es mag genügen, kurz anzuführen, dass dies der Fall ist; auch für die Verdickungsmyogramme gilt die Regel, dass der Gipfel der summirten Zuckung mit steigendem Intervall der Reize zuerst nach links und aufwärts, sodann, aber in einer anderen Linie wieder nach rechts und abwärts rückt, und dass von zwei gleich hohen Zuckungen stets die absteigend summirte die kürzere Gipfelzeit hat. Es wird genügen als Beleg hierfür die drei Zuckungen enthaltende Fig. 14 vorzulegen.[1]

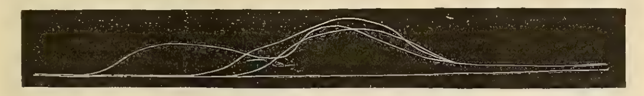


Fig. 14.
Zwei aufsteigend und eine absteigend summirte Zuckung; Verdickung des Muskels aufgeschrieben.

Aus den mitgetheilten Thatsachen ist zu entnehmen, dass die Gipfelzeit nicht als eine eindeutige Function der Gipfelhöhe angesehen werden kann; mit anderen Worten: die Dauer des Stadiums zunehmender Energie, welches ein Reiz hervorruft, muss auch noch von anderen Dingen, als von dem erreichten Contractionsgrade abhängig gedacht werden. Der Thätigkeits-

[1] Man muss, um bei den Verdickungsmyogrammen richtige Resultate zu bekommen, mit besonderer Sorgfalt darauf achten, dass die Curven nicht durch Abschleuderung modificirt werden. Man darf andererseits auch den Hebel nicht zu stark auf den Muskel aufpressen, weil man diesen sonst zu schnell deformirt. Es empfiehlt sich daher die Anwendung eines möglichst leichten Hebels und nicht zu starker Vergrösserung; dann genügt zur Andrückung ein Gummibändchen, welches zwischen der Axe und der Angriffsstelle des Muskels quer über den Hebel läuft und ihn mit mässiger Kraft nach unten zieht.

zustand, während dessen ein Reiz den Muskel trifft, setzt nicht lediglich die Zuckung auf eine andere Abscisse, sondern er modificirt in einer tiefer greifenden Weise den Ablauf der Vorgänge. Wenn man erwägt, dass die absteigend summirte Zuckung stets eine kürzere Gipfelzeit hat als die gleich hohe aufsteigend summirte, so wird man sich schwer des Gedankens erwehren können, dass es sich im Verlaufe der summirten Zuckung bemerklich macht, ob in dem Augenblicke des zweiten Reizes schon zufolge der ersten Zuckung die der Contraction entgegen wirkenden Vorgänge in Gang gebracht worden sind oder nicht. Geht man von dieser Vorstellung aus, so lässt sich sagen, dass in gewisser Weise auch noch der Ablauf der ersten Zuckung in der summirten verfolgt werden kann. Für die Art und Weise, wie dies zu denken ist, schienen mir von grossem Interesse diejenigen summirten Zuckungen zu sein, welche erhalten werden, wenn man im Verlauf einer maximalen Zuckung einen zweiten untermaximalen Reiz wirken lässt. Am instructivsten sind solche Versuche, wenn man bei einem bestimmten Reizintervall und stets maximalem ersten Reiz die Intensität des zweiten Reizes variirt. Einen derartigen Versuch mit kleinem Reizintervall (aufsteigende Summirung) zeigt Fig. 15. Man

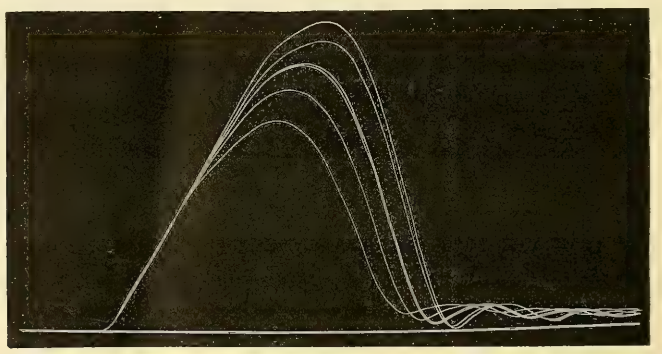


Fig. 15.

Aufsteigend summirte Zuckungen bei zunehmender Intensität des zweiten Reizes.

bemerkt hier, dass der Gipfel um so höher wird, je stärker der Reiz ist, zugleich aber, entgegengesetzt der sonst geltenden Beziehung von Gipfelhöhe und Gipfelzeit, nach rechts rückt. Offenbar macht sich in der summirten Zuckung das Zeitverhältniss der durch den ersten Reiz ausgelösten Bewegung um so überwiegender geltend, je schwächer der zweite Reiz ist. Noch eigenartiger und überraschender gestalten sich die Erscheinungen, wenn man den gleichen Versuch bei grösserem Reizintervall (absteigender Summation) ausführt. Man kann hier leicht bei passender Stärke des zweiten Reizes und passendem Intervall Fälle beobachten, in denen der zweite Reiz eigentlich nur ein verlangsamtes Absinken der myographischen

Curve, ein wirkliches Ansteigen dagegen, eine Zunahme der Zusammenziehung gar nicht oder nur in minimalem Betrage bewirkt. Eine solche Curve zeigt Fig. 16; hier ist zum Vergleich unter der summirten Zuckung auch

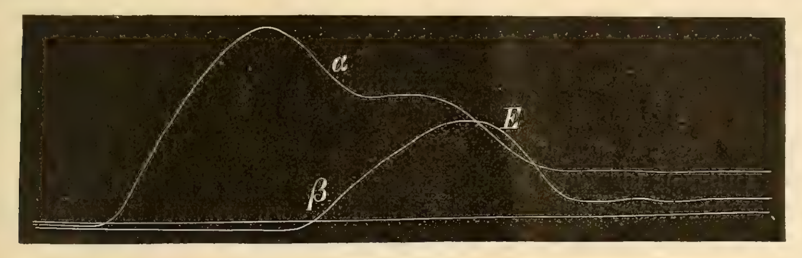


Fig. 16.
Absteigend summirte Zuckung bei untermaximalem zweiten Reiz, welcher für sich allein die Zuckung E auslöst.

die Bewegung gezeichnet, welche der zweite Reiz für sich allein wirkend hervorruft. Man bemerkt hier, dass die Summirung eigentlich nur als ein Höcker in der absteigenden Linie des Myogramms sich geltend macht; man sieht überdies, dass der schwache zweite Reiz, wenn er den Muskel im Stadium der abnehmenden Thätigkeit trifft, dieses Absinken nicht sofort unterbrechen kann, dass es vielmehr noch andauert zu einer Zeit, wo der zweite Reiz für sich allein wirkend schon eine stark ansteigende Curve liefern würde, wie das der Vergleich der gleichen Zeiten entsprechenden Punkte α und β lehrt. Variirt man auch hier die Intensität des zweiten Reizes, so erhält man Bilder wie Fig. 17. Man sieht, dass die summirte Zuckung dem Laufe der einfachen um so länger folgt, je schwächer der zweite Reiz ist.

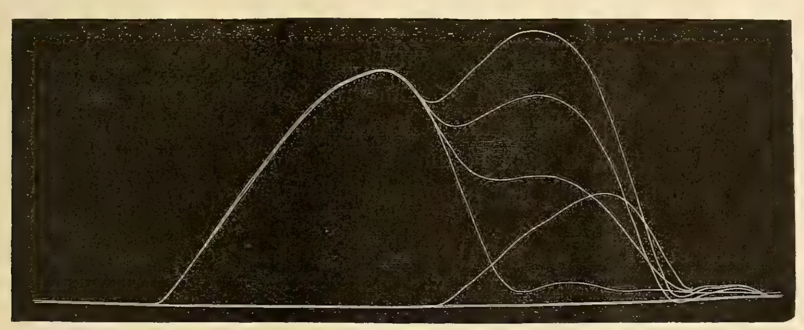


Fig. 17.
Absteigend summirte Zuckung bei Variirung der Intensität des zweiten Reizes.

Im Obigen ist zwar eine theoretische Deutung der mitgetheilten Befunde nicht versucht, doch aber im Allgemeinen von der Vorstellung ausgegangen worden, dass der typische zeitliche Verlauf der Thätigkeit, welche

durch einen Reiz bewirkt wird, durch das Zusammenwirken zweier mehr oder weniger modificirt zur Erscheinung kommt. Man kann nun die besprochenen Thatsachen auch noch von einem ganz anderen Gesichtspunkte aus betrachten, indem man von den interessanten Befunden Grützner's ausgeht, nach welchen im Froschmuskel im Allgemeinen zwei verschiedene Faserarten, schnell und langsam zuckende, vorhanden sind. In der That hat auch Grützner darauf hingewiesen,[1] dass das so kurze Stadium ansteigender Energie, welches der Einzelreiz im unvollkommenen Tetanus bewirkt, vielleicht die Zuckung der weissen Fasern sei, welche sich auf die vermöge dauernder Contraction der rothen Fasern erreichte Höhe aufsetzt. So beachtenswerth indessen das Vorkommen zweier verschiedener Faserarten in demselben Muskel unzweifelhaft ist, so hat es mir doch nicht gelingen wollen, die oben beschriebenen Erscheinungen ausschliesslich in dem Sinne zu deuten, dass man es mit einer wechselnden Combination zweier Thätigkeitsformen zu thun habe, deren jede einen völlig festen zeitlichen Typus besässe. Schon die Thatsache, dass auch durch Unterstützung der Last die Gipfelzeit sich verkürzt, wird sich, wie mir scheint, auf diese Weise nicht befriedigend erklären lassen. Die Verkürzung der Gipfelzeit durch Summirung der Zuckungen könnte man darauf beziehen, dass in sehr kurzem Intervall nach dem ersten Reiz nur die schnellen Fasern schon wieder in erneute Thätigkeit gesetzt werden können, die langsamen nicht oder nur unvollkommen. Allein dann würde man die kürzesten Gipfelzeiten für die aufsteigend summirten Zuckungen erwarten müssen, während sie thatsächlich sich bei den absteigend summirten finden. Im Ganzen wird man sich, glaube ich, schwer der Vorstellung entschlagen können, dass es sich auch um sehr regelmässige Modificationen der Thätigkeitsweise des einzelnen Gebildes handelt. Indess mag eine Entscheidung, wie weit diese Auffassung, wie weit die von Grützner angedeutete zutrifft, einer Zeit anheimgestellt bleiben, in welcher man auch von anderer Seite der Frage näher treten kann, wie überhaupt der zeitliche Typus der Muskelzuckung zu Stande kommt und wodurch er sich bestimmt. Bei der Lösung dieses wichtigen Problems können auch die hier mitgetheilten Thatsachen verwerthbar werden.

---

[1] Grützner, Ueber die Reizwirkungen der Stöhrer'schen Maschine auf Nerv und Muskel. Pflüger's *Archiv* u. s. w. Bd. XLI. S. 280.

Verhandlungen der physiologischen Gesellschaft zu Berlin.

Jahrgang 1887—88.

XVI. Sitzung am 8. Juni 1888.[1]

1. Hr. KOSSEL hält den angekündigten Vortrag: „Ueber einen neuen Bestandtheil des Thee's.[2]

Der Vortragende berichtet über eine neue, von ihm im Thee-Extract aufgefundene Base. Bekanntlich war das Caffeïn bisher der einzige chemisch definirte Stoff, auf welchen ein Theil der Wirkung des Thee-Infuses zurückgeführt werden konnte. Die neue Base steht in chemischer Beziehung dem Caffeïn nahe. Die Formel derselben ist $C_7H_8N_4O_2$. Die Base, für welche der Vortragende den Namen Theophyllin vorschlägt, ist also isomer mit dem Theobromin und mit dem Paraxanthin Salomon's, unterscheidet sich aber von Beiden durch gewisse Reactionen. Der auffälligste Unterschied vom Theobromin wird gegeben durch die Krystallisationsfähigkeit des Theophyllins. Die Krystalle sind makroskopisch erkennbar und treten als dünne, schmale, bis 5 ^{mm} lange, farblose Tafeln auf, die Krystalle des Theobromins hingegen sind, wie bekannt, nur mikroskopisch sichtbar. Die von Hrn. Dr. Scheibe ausgeführte krystallographische Untersuchung ergab ferner, dass dieselben mit den von Hrn. Arzruni untersuchten Krystallen des Paraxanthins nicht übereinstimmen. Die Krystalle enthalten ein Molecül Krystallwasser, welches bei einer 100^0 wenig übersteigenden Temperatur entweicht. Der Schmelzpunkt des Theophyllins liegt bei 264^0, das Paraxanthin und das Theobromin schmelzen bei 280^0 noch nicht. Bei höherer Temperatur bildet sich ein wolliges Sublimat. Das Theophyllin ist in Wasser bedeutend leichter löslich als Theobromin, sehr leicht löst es sich in schwach ammoniakhaltigen Flüssigkeiten, in denen das Theobromin sehr schwer löslich ist. In heissem Alkohol löst sich die Base langsam und fällt beim Erkalten wieder aus. Das Paraxanthin ist charakterisirt durch eine schwer lösliche Natronverbindung, die sich auf Zusatz von Natronlauge zu einer wässrigen

---

[1] Ausgegeben am 16. Juni 1888.

[2] Die ausführliche Publication erfolgt in der *Zeitschrift für physiologische Chemie.*

Lösung der freien Base in krystallisirtem Zustande ausscheidet. Auch das Theophyllin bildet eine solche Verbindung. Dieselbe ist aber, ebenso wie die des Theobromins, leicht löslich; man kann ihre Entstehung nur dann beobachten, wenn man eine sehr concentrirte ammoniakalische Lösung des Theophyllins mit Natronlauge versetzt. Die Quecksilberchloridverbindung der neuen Base scheidet sich auf Zusatz von Quecksilberchlorid langsam in schönen Krystallen aus; man kann ferner ein Platin- und ein Golddoppelsalz in krystallisirtem Zustand darstellen. Auf Zusatz von Silbernitrat zu der wässrigen Lösung des Theophyllins bildet sich ein flockiger Niederschlag, der sich in viel Ammoniak auflöst, besonders leicht beim Erwärmen. Beim Erkalten der ammoniakalischen Lösung fallen mikroskopische glänzende Krystalle heraus, die bei 138^0 getrocknet, die Zusammensetzung $C_7H_7N_4O_2Ag$ ergeben. Bezüglich der Reactionen gegen Salpetersäure und Chlorwasser mit nachträglichem Zusatz von Natronlauge bez. Ammoniak verhielt sich das Theophyllin ebenso wie Theobromin und Paraxanthin.

Das chemische Verhalten und die Zusammensetzung der Base legte die Vermuthung nahe, dass dieselbe ein Dimethyl- oder Monoäthylxanthin sei. Von diesem Gedanken ausgehend, stellte der Vortragende folgenden Versuch an. Die oben beschriebene Silberverbindung wurde in molecularem Verhältniss mit Jodmethyl (unter Zusatz von etwas Methylalkohol) in geschlossenem Rohr 24 Stunden auf 100^0 erhitzt. Beim Erkalten zeigte sich, dass die Bildung von Jodsilber stattgefunden hatte. Das Rohr war ferner von einer Krystallmasse erfüllt. Die Elementaranalyse der letzteren ergab, dass die Aufnahme einer Methylgruppe stattgefunden hatte, und die nähere Untersuchung des neu entstandenen Körpers erwies seine Identität mit dem Caffeïn. Eine Probe des künstlichen Caffeïns mit natürlichem Caffeïn an demselben Thermometer erhitzt, ergab eine Uebereinstimmung der Schmelzpunkte (280^0 bis 230^0). Da das Caffeïn durch die Untersuchungen E. Fischer's als Trimethylxanthin charakterisirt ist, so beweist der vorliegende Versuch, dass das Theophyllin ein Dimethylxanthin ist. Die Constitution dieses Körpers ist somit im Wesentlichen klargelegt.

Auch das Theobromin ist als Dimethylxanthin zu betrachten. Wie Strecker zeigte, wird das Theobromin ebenfalls durch Einfügung einer Methylgruppe in Caffeïn verwandelt und durch die Untersuchungen E. Fischer's ist ferner ein vollkommener Aufschluss über die Constitution des Theobromins gegeben. Nach E. Fischer (*Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, Bd. XV, S. 455; — *Annalen der Chemie*. Bd. 215, S. 304) zerfällt das Theobromin in Monomethylalloxan und Monomethylharnstoff. Es wäre denkbar, dass bei der analogen Zersetzung des Theophyllins andere Producte entstehen und dass sich die Isomerie zwischen Theobromin und Theophyllin aus einer verschiedenen Stellung der Methylgruppen erklären lässt.

Versuche über die physiologischen Wirkungen dieses Stoffes werden später mitgetheilt werden. Der Vortragende ist von der chemischen Fabrik von Dr. Fr. Witte in Rostock bei diesen Versuchen durch Uebersendung von Thee-Extract unterstützt worden und spricht hierfür seinen Dank aus.

2. Hr. Dr. W. Will (a. G.) hält den angekündigten Vortrag: „Ueber Atropin und Hyoscyamin."

Nachdem Mein 1831 das Atropin aus der Belladonnawurzel isolirt hatte, sind noch eine Reihe von Basen in den der Familie der Solaneen angehörigen

Pflanzen aufgefunden worden, welche dieselben merkwürdigen physiologischen Eigenschaften zeigten. Man nannte sie je nach der Pflanze, aus welcher sie gewonnen waren: Hyosciamin, Belladonnin, Daturin, Düboisin, Hyoscin u. s. w. Ein eingehenderes Studium zeigte dann, dass Belladonnin, Daturin, Düboisin nur Gemenge von Hyoscyamin und Atropin, bez. Hyoscin sind, so dass sich die Zahl der bis jetzt in der Pflanze aufgefundenen mydriatisch wirkenden Alkaloïde auf diese drei reducirt. In ihrer chemischen Natur stehen sich diese Basen sehr nahe. Es sind isomere Verbindungen, welchen die empirische Zusammensetzung $C_{17}H_{23}NO_3$ zukommt. Zahlreiche Arbeiten über die Zersetzungsproducte derselben haben wichtige Aufschlüsse über ihre Constitution geliefert. Namentlich ist bekannt, dass sich aus den Spaltungsproducten des Hyoscyamins das Atropin wieder aufbauen lässt. Ueber die Ursache der Verschiedenheit der Basen ist man indess noch nicht im Klaren.

In der chemischen Fabrik auf Actien, vormals E. Schering, sind nun in der letzten Zeit grosse Quantitäten von Belladonnawurzel unter verschiedenen Cautelen auf Alkaloïd verarbeitet worden und dabei hat sich als bemerkenswerthes Resultat ergeben, dass zunächst das Verhältniss der ausgebrachten Menge von Atropin und Hyoscyamin sehr wechselte mit der Art der Verarbeitung der Wurzel, und dass man aus derselben Wurzel um so weniger Atropin und um so mehr Hyoscyamin erhält, je sorgfältiger man arbeitet. Bei richtiger Verarbeitung gut behandelter Belladonnawurzel wird überhaupt kein Atropin, sondern nur Hyoscyamin erhalten. Eine solche Erfahrung musste zu der Annahme führen, dass das Hyoscyamin während der Verarbeitung eine Umwandlung in das Atropin erleidet. Zur Prüfung der Bedingungen, unter welchen diese Umwandlung sich vollziehen kann, sind dann von dem Verfasser Versuche angestellt worden, zu welchen von der genannten Fabrik das nöthige Material und die in der Fabrik gemachten Erfahrungen zur Verfügung gestellt wurden.

Die Untersuchung hat nun ergeben, dass sich das Hyoscyamin auf verschiedene Methoden glatt in Atropin überführen lässt. Zunächst durch Erhitzen auf 110^0 im Kochsalzbad, zweitens durch eine Spur von Natron oder Kalilauge in alkoholischer Lösung. Füllt man eine Polarisationsröhre mit einer alkoholischen Hyoscyaminlösung, setzt einige Tropfen Alkali hinzu und beobachtet am Polaristrobometer, so nimmt das Drehungsvermögen rasch ab und ist nach kurzer Zeit verschwunden. Das optisch active Hyoscyamin ist vollständig in das nicht active Atropin verwandelt. Die Zeitdauer der Umwandlung ist abhängig von der Natur des Alkalis und es scheint hier ein bequemes Mittel gegeben, die Affinitätsgrössen der Basen zu messen.

Die beschriebene Ueberführung des Hyoscyamins in Atropin erklärt nun sehr einfach alle die verschiedenen Angaben über den Wechsel der Ausbeute an beiden Alkaloïden aus derselben Wurzel. Bei der Verarbeitung wird stets das Alkaloïd durch ein Alkali in Freiheit gesetzt und die Zeitdauer der Berührung mit demselben, sowie die Concentration muss das Verhältniss, in welchem Atropin und Hyoscyamin ausgebracht werden, modificiren.

Es ist bekannt, dass das Studium der aus den Pflanzen isolirten Basen öfters zur Erkenntniss geführt hat, dass dieselben aus mehreren empirisch gleich zusammengesetzten Körpern bestehen (Chinin, Chinidin u. s. w.) und dass die bei verschiedenen Operationen erhaltenen Basen diese isomeren Körper in sehr wechselnden Verhältnissen enthielten, ohne dass über die Ursache dieser Beobachtung ein Aufschluss erlangt ist. Es ist sehr wohl möglich, dass bei näherer

Untersuchung sich hier analoge Umwandlungen unter dem Einfluss der bei der Isolirung angewandten Reagentien werden nachweisen lassen.

In der vom Verfasser in den *Berichten der deutschen chemischen Gesellschaft* Bd. XXI, S. 1717 veröffentlichten ausführlichen Arbeit findet sich noch eine Reihe von Mittheilungen, durch welche frühere Angaben über Drehungsvermögen, Krystallform, Salze der Alkaloïde rectificirt werden.

XVII. Sitzung am 22. Juni 1888.[1]

1. Hr. H. Virchow hält den angekündigten Vortrag: „Ueber Augengefässe der Carnivoren nach Untersuchungen des Hrn. Bellarminow.“

I. Arterien des Bulbus. — Es giebt zwei Aa. ophthalmicae, A. ophth. ext. und A. ophth. int., erstere aus der Maxill. int., letztere aus der Carotis int. Darin verhalten sich Hund und Katze wie das Kaninchen. Die Art. ophth. int., die weitaus schwächere von beiden, giebt die A. centr. ret. ab, und da die Netzhaut genetisch ein Theil des Gehirnes ist, so dürfte wohl die A. centr. ret. als die eigentliche Fortsetzung der A. ophth. int. angesehen werden. Doch ist dieses Verhältniss dadurch getrübt, dass die A. ophth. int., durch einen zweiten Zweig mit dem Gebiete der A. ophth. ext. in Verbindung tretend, auch an der Gefässversorgung der mittleren Augenhaut betheiligt ist.

Die A. ophth. ext., nachdem sie ihren Ursprung genommen hat aus einem Stämmchen, welches an der lateralen Seite des M. rectus tempor. liegt, geht über diesen Muskel und legt sich hart an den Sehnerven, wodurch sie dessen nasale Seite erreicht. Hier theilt sie sich in zwei Zweige, die A. iridis medialis und einen zweiten Zweig, der sich, abwärts gebogen unter den Sehnerven begiebt, hier den vorwärts laufenden Zweig der A. ophth. int. aufnimmt und dann, durch diesen verstärkt, zur A. iridis tempor. wird.

Auffallend ist an diesem Verhalten, dass die A. ophth. ext. nicht gleich, während sie den N. opticus passirt, an dessen lateraler Seite die A. iridis lat. abgiebt, sondern dass der zu dieser werdende Zweig sich erst um den Sehnerven herumwindet. — Einfachere, so zu sagen „natürlichere“, Verhältnisse bietet in dieser Hinsicht das Kaninchen, bei dem die A. ophth. ext. gleichfalls über den Sehnerven hinwegzieht und, indem sie das thut, zuerst an der temporalen Seite die temporale und dann an der nasalen Seite die nasale Irisarterie bildet. Dieses natürliche Verhältniss würden wir bei den Carnivoren herstellen, wenn wir ihren Bulbus um 180° um die Augenaxe rotiren liessen, so dass die Oberseite zur Unterseite, die temporale zur nasalen würde; damit wäre auch in der Hinsicht eine Uebereinstimmung mit dem Kaninchen hergestellt, dass der Endast der A. ophth. int. zur Bildung der nasalen und nicht — wie er thatsächlich bei Carnivoren thut — zur Bildung der temporalen Irisarterie beitragen würde.

Die A. ophth. int. verlässt die untere Seite des Sehnerven schon im Foramen opticum, um an der lateralen Seite des Nerven vorbei auf die obere Seite desselben zu gelangen und von da auf der medialen Seite vorbei wieder an seine untere Seite zurückzukehren. Auch diese Spirale, für die eine Ursache nicht

---

[1] Ausgegeben am 22. Juni 1888.

hervortritt, könnten wir durch die oben angegebene Drehung des Auges um 180°, wenn auch nicht gänzlich beseitigen, so doch vermindern und uns dem „natürlicheren“ Verhältniss annähern, welches beim Kaninchen besteht, wo die A. ophth. int. da bleibt, wo sie von Anfang an ist: auf der ventralen Seite des Sehnerven.

II. Der Arterienring am Rande der Chorioides. — [Um dasjenige, worauf die Aufmerksamkeit in diesem Vortrage vornehmlich gerichtet werden soll, nicht durch eine unnöthige Fülle von Einzelheiten zu verdecken, wird hier nicht gesprochen von der Anordnung der Arterien und Venen und Capillaren in der Chorioides selbst; auch nicht von dem Circ. irid. major; auch nicht von den Gefässen des Corpus cil. und denen der Falten.]

Vorn in der Chorioides findet sich ein arterieller Ring, besonders deutlich bei der Katze. Er liegt etwas hinter dem Rande selbst. Er ist nicht völlig geschlossen, nicht einmal in dem Maasse wie der Circ. irid. major, aber doch ein deutlicher durch kurze Lücken unterbrochener Ring.

Er erhält Zweige

1. von den beiden Irisarterien direct, da wo diese den Rand der Chorioides passiren,
2. von den gleichen Gefässen indirect, d. h. durch Vermittelung des Circ. irid. major, also von vorn, dies sind seine stärksten Wurzeln,
3. von den Chor.-Arterien, also von hinten.

Er giebt ab Zweige

1. nach vorn in's Corpus ciliare. Diese sind weit kleiner als diejenigen, welche er von vorn empfängt.
2. nach hinten in die „interpenicillären Felder“ (eine Bezeichnung, welche sogleich ihre Erklärung finden wird).

In den eben namhaft gemachten Verhältnissen treten zwei Punkte erwähnenswerth hervor:

a) die Tendenz zur Bildung von Gefässringen, welche im Carnivorenauge sehr stark ist,
b) die Tendenz des vorderen Arteriengebietes der mittleren Augenhaut, seinen Bereich nach hinten zu erweitern, eine Tendenz, welche nur im Auge des Menschen und der Affen sehr erfolgreich gewesen ist und hier zur Zurückdrängung der Grenze bis zum Aequator geführt hat.

III. Der arterielle Ring des Skleralrandes. — Auch dieser kann als ein, wenn auch nicht immer lückenloser, Ring bezeichnet werden. Er liegt in der mittleren Zone des noch zu beschreibenden venösen Plexus des Hornhautskleralrandes. Gespeist wird er durch vier Arterien, deren Zahl sich aber scheinbar dadurch, dass die Theilungsstellen weiter hinten als der Ring selbst liegen, vermehren kann, im extremen (denkbaren) Falle auf acht. Es sind dies

1. je ein Zweig von jeder der beiden Irisarterien, abgegeben während letztere die Sklera passirt,
2. je ein dorsaler und ventraler Zweig an der Sehne des M. rectus sup. und inf., abstammend aus den betr. Muskelarterien.

Die aus dem arteriellen Ringe gegen den Hornhautrand austretenden kleinen Arterien sind nicht sonderlich zahlreich, etwa 16 bis 20 im Ganzen; es sind kurze, rechtwinkelig abgehende Stämmchen, die an ihrem Ende typisch in zwei Endgefässe divergiren, welche, nachdem sie umgebogen sind in Tangenten des

Hornhautrandes, nun aus ihrer der Hornhaut zugewendeten Seite in grösserer Zahl die zuführenden Schenkel der Randschlingen austreten lassen.

Bemerkenswerth ist hier

1. dass es nicht conjunctivale Arterien sind, welche das arterielle Netz des Hornhautrandes speisen, sondern wenige kräftige von hinten kommende Zuflüsse;
2. dass von Muskelarterien nur eine dorsale und eine ventrale zur Geltung kommen;
3. dass die Irisarterien sich in die Versorgung des Hornhautrandes einmischen;
4. dass ein Ring vorhanden ist;
5. dass in der Versorgung sich eine sehr einfache Gesetzmässigkeit offenbart.

IV. Sammelstellen der Venen der Chorioides und Venae vorticosae. — Die Sammelstellen der Venen liegen auf dem Ciliarrande selbst (gelegentlich auch etwas hinter demselben); in dieser Hinsicht halten die Carnivoren den primären Typus fest, der nur bei Mensch und Affen durch Zurückdrängung der Sammelstellen bis zum Aequator verloren gegangen ist. Aber in einer anderen Hinsicht entfernen sie sich von der primären Form: durch die Zerspaltung der Sammelstellen in eine grössere Zahl und eine damit einhergehende Veränderung des Typus der chorioidealen Venen. Um das zu verstehen, muss man sich Folgendes vergegenwärtigen: beim Frosch (auch bei Vögeln) giebt es zwei Sammelstellen der Venen der Chorioides, eine dorsale und eine ventrale, beide im senkrechten Meridiane gelegen. Beim Kaninchen ist ihre Zahl auf vier, zwei dorsale und zwei ventrale, gestiegen, aber es lässt sich auf's deutlichste bemerken, dass das, was den ursprünglichen Hälften eines Vortex entspricht, die seitlichen Stücke sind, und dass die Einschiebung in der Mitte stattgefunden hat. Auch könnte man eine Tendenz zu weiterer Zersplitterung darin finden wollen, dass zuweilen die kleinen Venen, welche das Blut aus Theilstücken eines Quadranten abführen, sich erst innerhalb der Sklera vereinigen, so dass sich in der Chorioides die Zahl der Partialsammelstellen vergrössert. Aber diese Tendenz gewinnt nie so viel Macht, dass das Bild der Venenanordnung in einem Quadranten zerstört würde. Bei den Carnivoren ist das anders: Hier ist die Zerspaltung Gesetz; sie führt zu einem neuen Typus, den wir im Gegensatz zu dem primären bilateralen Typus als radiären zu bezeichnen haben; die Zahl der Sammelstellen im ganzen Umfange (dorsale und ventrale zusammen) ist beim Hunde 14 bis 15, bei der Katze bis 17. Die neuaufgetretenen Figuren bezeichnen wir, um ihrer Selbständigkeit und ihrem Aussehen gerecht zu werden, als Pinsel (Penicilli). [Zwischen je zwei Pinseln bleiben kleine, den Ciliarrand berührende, hinten spitz endende Felder, die schon vorhin in Anspruch genommenen „interpenicillären Felder“ übrig.]

Von vorn her kommen die Venen des Corpus ciliare bez. der Iris und treten convergirend zu den Sammelstellen der Penicilli, ebenso wie zu denen der gleich noch zu erwähnenden Semivortices; durch sie und durch kurze aus den interpenicillären Feldern auftauchende Wurzeln vervollständigt sich das Bild der Pinsel zu dem von Sternchen, deren hintere, vordere und seitliche Theile allerdings sehr ungleiche Stärke besitzen.

Der radiäre Typus erleidet jedoch eine Unterbrechung in der Nähe des horizontalen Meridianes, in der Nachbarschaft der Irisarterien, in denjenigen Abschnitten der chorioidealen Venen, welche zu den vier, dem horizontalen Meridiane nächsten Sammelstellen gehören. Hier ist der Vortexcharakter auf der dem horizontalen Meridiane zugewendeten Seite erhalten, freilich auch dort nur in eingeschränkter Form. Dieser Thatsache soll durch den Namen der „Semivortices“ Rechnung getragen werden, und somit haben wir zu unterscheiden von venösen Einzelgebieten (die übrigens untereinander durch Querverbindungen vereinigt sind) 4 Semivortices und eine grössere Zahl von Penicilli (10, auch 11 beim Hunde, bis 13 bei der Katze).

Dass in dieser Scheidung der Sammelbezirke in Semivortices und Penicilli keine Spitzfindigkeit liegt, zeigt sich weiter in dem Verhalten der ausführenden Venen: die Semivortices geben ihr Blut an die Venae vorticosae ab, die Penicilli zum Theil auch in diese, zum Theil in den Plexus venosus des Skleralrandes.

Hier ist von den Venae vorticosae zu sprechen.

Es giebt vier Venae vorticosae, zwei dorsale und zwei ventrale. Jede derselben nimmt ihren Anfang in der Sammelstelle eines der Semivortices, und indem sie im Bogen durch die Sklera hindurchzieht, nähert sie sich der der anderen Seite; sie ist also, bevor sie die Sklera betritt, dem horizontalen Meridiane, und nachdem sie die Sklera verlassen hat, dem senkrechten Meridiane näher. Typisch nimmt jede der vier Venae vorticosae noch eine, öfters auch zwei der Pinselvenen auf. (Die übrig bleibenden Pinselvenen haben ihren Abfluss in den venösen Plexus des Skleralrandes.)

Durch den erwähnten Verlauf der Venae vorticosae und ihre feststehende Verbindung mit vier bestimmten Sammelstellen wird bekräftigt, dass in den letzteren die Reste der alten Vortices zu suchen sind, und wir kommen damit zu folgender Fassung: bei den Carnivoren ist durch Zerspaltung der Venen-Sammelstellen in der Chorioides an die Stelle des alten bilateralen Typus ein vorwiegend radiärer getreten; die Reste der alten Vortices finden wir in den dem horizontalen Meridiane zugewendeten Seiten der vier nächstliegenden Sammelbezirke, aber auch in diesen nur in unvollkommener Weise wieder; hier, d. h. also an der nasalen und temporalen Seite, herrscht noch bilateraler Typus, dagegen ist zwischen den beiden dorsalen und ebenso zwischen den beiden ventralen Vortexresten eingeschoben, bez. aus Bestandtheilen der Vortices entstanden etwas Neues, die Pinsel, die ihren Anschluss zwar zum Theil an die V. vortic. bewahrt, zum Theil aber neuen Anschluss an den Plexus venosus des Skleralrandes gefunden haben: hier, d. h. also an der dorsalen und ventralen Seite, herrscht radiärer Typus.

Hinzuzufügen ist, dass jede V. vorticosa typisch eine starke, bisweilen aber zwei oder drei kleine Wurzeln aus dem Plexus des Skleralrandes aufnimmt, so dass eine höchst ausgiebige Verbindung zwischen diesen zwei beim Menschen getrennten Venengebieten besteht.

V. Der venöse Plexus des Skleralrandes und die Venen des Hornhautrandes. — Das hiermit bezeichnete Gebiet zerfällt in drei Zonen, eine vordere, mittlere und hintere; oder in die Zone der kleinen Randvenen, die des Plexus selbst und die der Austrittsgegenden.

a) Die kleinen Randvenen ähneln in ihrer Anordnung sehr den früher erwähnten kleinen Randarterien, aus denen sie durch Vermittelung der Randschlingen entstehen, so dass über sie nichts weiter bemerkt werden soll. Da sie radiär liegen, der Plexus dagegen, in den sie hineinführen, circulär, so ist der vordere Rand des Plexus sehr scharf zu erkennen.

b) Der Plexus ist an der Stelle des sonst viel einfacheren im Schlemm'schen Canale gelegenen Plexus zu suchen. Da seine Maschen vorwiegend parallel dem Hornhautrande langgezogen sind, so entsteht das Bild von ringförmigen, durch Anastomosen verbundenen Gefässen; besonders ist das deutlich an den „austrittsfreien" Stellen (ein Ausdruck, der sogleich seine Erklärung finden soll), wo typisch zwei derartige Ringe hintereinander liegen, zuweilen drei, zuweilen aber nur einer. Dagegen da, wo der Plexus in die Austrittsgegenden übergeht, sind die Maschen desselben mehr rundlich, und in demselben Maasse geht das Bild von Ringvenen verloren.

c) Die dritte Zone ist nicht im ganzen Umfange vorhanden, sondern beschränkt sich auf zwei Gegenden („Austrittsgegenden"), eine dorsale und eine ventrale, während zwischen ihnen eine nasale und eine temporale „austrittsfreie" Gegend übrig bleibt. Die austrittsfreien Gegenden sind ausgedehnter als die Austrittsgegenden. In jeder der beiden Austrittsgegenden giebt es typisch drei Austrittsstellen, bez. drei abführende Venen. Von den letzteren führt je eine zu einer der Vortex-Venen, die dritte, zwischen beiden, also im senkrechten Meridiane gelegen und in ihrer Lage der dorsalen bez. ventralen Arterie des früher beschriebenen arteriellen Ringes entsprechend, geht direct zu den Venen der Augenhöhle. In die Austrittsgegend hinein setzt sich der Plexus mit rundlichen Maschen fort.

Der Plexus venosus nimmt auf

1. die kurzen Venen der Penicilli (soweit sie nicht in die Vortex-Venen führen); diese sind in ihrem Verlaufe von der Chorioides zur Sklera vorwärts gerichtet und bei ihrem Eintritt in den Plexus selbst dem senkrechten Meridiane zugeneigt, so dass sie mit den ausführenden Venen und den zwischen ihnen und diesen liegenden Stücken des Plexus Arcaden darstellen.
2. Venen vom Corpus ciliare. Diese gehen vom Corpus ciliare direct nach aussen in die Venen der vorderen Zone.

In reichlicher Verbindung mit allen drei Zonen steht das episklerale Gefässnetz, über welches etwas Besonderes nicht zu bemerken ist.

2. Hr. J. F. Heymans aus Löwen, Assistent am physiologischen Institut, hält den angekündigten Vortrag: „Ueber die Nervenendigung in der glatten Muskelfaser beim Blutegel."

Schon eine ziemlich grosse Anzahl von Autoren hat die Innervation der glatten Musculatur studirt und beschrieben; man kann ihre Arbeiten. dem Untersuchungsmaterial nach, in folgende Abtheilungen ordnen:

I. Bei Wirbelthieren.
  A. Im Nahrungsschlauch.
  B. In dem M. recto-coccygeus (von Kaninchen).
  C. In den Gallenwegen.
  D. In den Harnwegen.

E. In den Geschlechtsorganen.
F. In den Blutgefässen.
II. Bei Gasteropoden.
A. Im Nahrungsschlauch.
B. In den Schliessmuskeln.
III. Bei Hirudineen.
A. Im Nahrungsschlauch.
B. In den Blutgefässen.
C. In den Körpermuskeln.

Man findet noch die glatten Muskelfasern in anderen Gegenden des Organismus und bei anderen Thierclassen, aber bis jetzt ist die Nervenendigung dort noch nicht ausführlich beschrieben.

Da ich hier die Frage der Nervenendigung allein beim Blutegel besprechen will, glaube ich die Arbeiten, welche über Wirbelthiere und Gasteropoden handeln, mit Stillschweigen übergehen zu können; ich werde mich also auf die vier Autoren, welche diese beim Blutegel beobachtet haben, beschränken: diese sind Gscheidlen,[1] Ranvier,[2] Hansen,[3] und Vignal.[4]

Gscheidlen hat die Beziehung vom Nerven zum Muskel im Darmcanal, im Gefässsystem und in der Körperwand untersucht; er kommt zu demselben Schluss wie vorher Löwit, das heisst, er nimmt den intermusculären Plexus mit plattenlosen Terminalfibrillen an. Wie er selbst sagt, „von einer Nervenendigung, wie solche bei den quergestreiften Muskelfasern vorkommt, kann nach obigen Untersuchungen bei den glatten Muskelfasern (des Frosches und) des Blutegels nicht die Rede sein“.[5]

Ranvier im Gegentheil, welcher die Nervenendigung beim Blutegel allein im Magen beschreibt, fasst seine Beobachtungen in folgenden Worten zusammen:

„Il existe donc, d'une part, un plexus nerveux qui, d'après sa forme et son siège, pourrait être considéré comme terminal, et d'autre part, des branches extrêmement courtes qui en partent et qui vont se terminer à la surface des cellules musculaires en s'y aplatissant sous la forme de petits boutons à bords irréguliers.“[6]

Vignal, in seiner Arbeit „Recherches histologiques sur les centres nerveux de quelques invertébrés“ beschreibt auch die Innervation des Darmkanals des Blutegels und sagt über die Nervenendigung ungefähr dasselbe wie sein Lehrer: ausserdem macht er mit Recht auf einige Punkte aufmerksam, welche ich weiter anführen werde.

Endlich hat Hansen die Nervenendigung in den willkürlichen Muskeln der Körperwand untersucht; es ist ihm in einer Reihe von Schnitten nur zweimal gelungen, eine Endplatte zu sehen.

---

[1] R. Gscheidlen, Beiträge zur Lehre von der Nervenendigung in den glatten Muskelfasern. *Archiv für mikroskopische Anatomie.* 1877. Bd. XIV. S. 321—333. Taf. XXII.

[2] L. Ranvier, *Leçons d'anatomie générale.* Appareils nerveux terminaux des muscles de la vie organique. Paris 1880. p. 493—503.

[3] J. A. Hansen, Sur la terminaison des nerfs dans les muscles volontaires de la sangsue. *Archives de Biologie.* 1881. t. II. p. 342—345.

[4] W. Vignal, Recherches histologiques sur les centres nerveux de quelques invertébrés. *Archives de zoologie expérimentale.* 1883. 2me Série. t. I. p. 369 et 370.

[5] Gscheidlen, a. a. O. S. 332.

[6] Ranvier, a. a. O. S. 503.

Diese vier Autoren haben die Goldmethode gebraucht: Gscheidlen, die Löwit'sche; Ranvier und seine Schüler, seine bekannte Ameisensäure- und Citronensaft-Goldmethode. Die Praeparate, welche ich aufgestellt habe, sind alle nach der Citronensaft-Goldmethode gemacht; sie erlauben die folgenden Thatsachen zu beobachten, nicht allein durch die gelungene Goldfarbe, sondern auch durch die Art ihrer Anfertigung; ich werde an einem anderen Orte Gelegenheit haben, darüber ausführlicher zu sprechen.

Vorerst sehen wir, dass im Darmkanal, innerhalb der Ringmuskelschicht, sich eine Längsmuskelschicht befindet; die Längsmuskelschicht wird durch mannichfach verzweigte und anastomisirende Muskelfasern gebildet, wie es in einem der aufgestellten Praeparate sichtbar ist. Meiner Ansicht nach giebt es zwei verschiedene, von einander getrennte Schichten und nicht nur verzweigte Ringmuskelfasern, wie man sie bis jetzt beschrieben hat, und wie sie bei Arthropoden wirklich existiren.[1] Weder Gscheidlen, noch Ranvier sprechen von der Längsmuskelschicht des Darmkanals; Vignal allein sagt: „il existe aussi quelques fibres longitudinales généralement plus grêles (que les circulaires)".[2]

Ausserhalb dieser Längsmuskelschicht haben wir die Ringmuskelschicht, wie sie von Gscheidlen, Ranvier und Vignal beschrieben ist; ich erwähne hierbei mit Vignal, dass die beiden Enden jeder Ringmuskelfaser sich nicht nur in zwei oder drei Zweige vertheilen, sondern manchmal in eine grössere Anzahl von Verzweigungen. Wir können endlich mit demselben Beobachter sagen, dass die Bauchrückenmuskeln, welche den Darm umgeben, nicht eine Anhäufung der Ringmuskelfasern sind, sondern zu den Körperwandmuskeln gehören.

Wenden wir uns jetzt zu der Beschreibung des sympathischen Darmnervensystemes. Meines Wissens ist bis jetzt nur ein visceraler Nerv beschrieben; dieser Nerv, zuerst durch Brandt beobachtet, verläuft longitudinal in der Mitte der ventralen Seite der Darmwand, giebt laterale Zweige ab und ist überall mit Ganglienzellen versehen. Aber wenn wir, wie in einem der aufgestellten Praeparate, ein ganzes Querstück des Nahrungsschlauches betrachten, so sehen wir, dass ausser dem ventralen Nerven noch zwei ganz ähnliche dorsale Nerven vorhanden sind. Sie sind longitudinal, parallel unter einander und parallel dem ventralen Nerven; sie besitzen Ganglienzellen und geben laterale Zweige ab, allein ihr Durchmesser ist ungefähr halb so gross, wie der des ventralen Nerven, so dass dieser als eine Verschmelzung von zwei Nerven erscheint, oder jene als eine Zweispaltung eines Nervenstammes.

Die Verzweigungen der beiden dorsalen Nerven und diejenigen des ventralen Nerven nähern sich, verzweigen sich und anastomosiren; sie sind mit Ganglienzellen versehen und stellen den sogenannten ganglioniären Grundplexus dar. Ich will hier auf die feinere Structur dieses Grundplexus, seiner Nervenstränge und Nervenzellen nicht eingehen, obwohl ich in einigen Punkten nicht der Meinung meiner Vorgänger bin; aber dies Alles sind Fragen, über welche man viel streiten kann, ohne sie endgültig aufzuklären. Ich will hier nur darauf aufmerksam machen, dass der Grundplexus, anstatt ausser oder zwischen den Ringmuskelfasern zu liegen, wie es Gscheidlen, Ranvier und Vignal angedeutet haben, sich zwischen der Ring- und Längsmuskelschicht

[1] Vergl. Bourne, *Quarterly Journal of Microscopical Science.* 1884. Bd. XXIV. p. 439.

[2] Vignal, a. a. O. S. 369.

befindet, wovon man sich an mehreren der aufgestellten Praeparate überzeugen kann: so dass hier der Grundplexus des Ernährungsschlauches vom Blutegel, wie der Auerbach'sche Plexus der Wirbelthiere, zwischen den beiden Muskelschichten liegt.

Wie tritt jetzt dieser Grundplexus mit den Muskelfasern in Verbindung? Er giebt zuerst einen peripherischen oder intramusculären Plexus ab, worüber Gscheidlen, Ranvier und Vignal unter einander einig sind. Geben jetzt diese Grund- und peripherischen Plexus nur Terminalfibrillen ohne motorische Endplatten ab, wie es Gscheidlen behauptet, oder nur Terminalfibrillen mit Endplatten, wie Ranvier und Vignal es meinen? Sagen wir zuerst, dass einerseits diese Endfasern mit Platten in unseren Praeparaten nicht zu bestreiten sind, aber andererseits fügen wir hinzu, dass selbst bei den bestgelungenen Praeparaten sich Terminalfibrillen mit einem freien Ende, im Sinne von Gscheidlen, befinden. Meiner Ansicht nach muss man mit unseren heutigen Methoden beide anerkennen: vielleicht sind die Terminalfibrillen ohne Endplatten sensibler Natur und leiten den centripetalen Reiz zum Grundplexus, von wo der centrifugale Reiz durch die Nervenfasern mit motorischen Endplatten zu den Muskelfasern geleitet wird. Jede Muskelfaser ist mindestens mit einer motorischen Endplatte versehen, kann sicher aber auch mehrere bekommen; und wie man sich davon an einem der Praeparate überzeugen kann, bekommt eine und dieselbe Muskelfaser gelegentlich sogar vier Endplatten.

Gehen wir jetzt zu den lateralen contractilen Gefässen über; die Ringmuskelschicht ist schon hier bekannt, aber bis jetzt habe ich in der Litteratur noch keine Erwähnung einer Längsmuskelschicht angetroffen, und doch findet sich eine solche vor, obwohl weniger stark und weniger regelmässig, innerhalb der Längsmuskelschicht. Aber was hier sehr deutlich und merkwürdig ist, das ist, dass jede Ringmuskelfaser in einem gewissen Momente ihres Verlaufs sich unter die benachbarten Ringmuskelfasern schiebt und schräg, dann longitudinal wird; zuweilen theilt sich die Ringmuskelfaser ein oder mehrmals, der eine Zweig geht in der einen Richtung, der andere in der entgegengesetzten. Kurz, wir haben hier zwei Muskelschichten, eine Ring- und eine Längsmuskelschicht, welche durch ein und dieselbe Muskelfaser gebildet werden; die Zusammenziehung dieses contractilen Elements muss gleichzeitig Verkürzung und Verengerung des Gefässes bewirken. Um von dieser physiologischen Anschauung zu einer anatomischen überzugehen, will ich bemerken, dass die vorliegende Anordnung wahrscheinlich ein Uebergangsstadium zu dem Vorkommen zweier getrennten Längs- und Ringmuskelschichten darstellt; dies Beispiel scheint mir histogenetisch interessant und ist wahrscheinlich nicht isolirt.

Die Innervirung dieser Muskelfasern geschieht auf folgende Weise: an verschiedenen Stellen kommen vasomotorische Nerven zur Gefässwand; sie bilden in der Adventitia einen Plexus, aber nirgends in dieser Gegend besitzen sie Ganglienzellen, dieses kann man bestimmt behaupten; also die vasomotorischen Nerven der contractilen Gefässe des Blutegels bilden einen peripherischen ganglienzellenlosen Plexus. Aus diesem Plexus, welcher dem Endplexus oder intramuscularen Plexus anderer Organe gleichzusetzen ist, kommen Nervenfasern, welche bald in der Peripherie der contractilen Scheide und irgendwo auf der Länge der Muskelfaser in einem ovoïden Knoten endigen. Ich kann mehrere Zeichnungen vorzeigen, welche diese Endigungsweise darstellen.

Gscheidlen ist der einzige, welcher uns etwas über die Innervation der Blutgefässe sagt;[1] in der einzigen Figur,[2] welche er uns darüber giebt, sehen wir die Terminalfibrillen sich zwischen den Ringmuskelfasern in eine Reihe von Granulationen auflösen. Ich werde mich hier nicht dabei aufhalten, den Grund des Irrthums von Gscheidlen darzulegen, in meinen Praeparaten kann man sich überzeugen, dass die motorischen Gefässnerven auf die von mir angedeutete Weise endigen.

Nachdem wir die Innervirung der unwillkürlichen glatten Muskelfasern des Nahrungsschlauches und der Blutgefässe studirt haben, sehen wir zum Schluss, wie sich die Seitennerven der Ganglienkette zu den willkürlichen Muskeln des Körpers verhalten. Wie Hansen sagt, verzweigt sich der Nerv mehrfach zwischen den Muskelfasern und besitzt keine Ganglienzellen. Aber was Gscheidlen gar nicht gesehen hat[3] und was Hansen nur zweimal beobachten konnte, das heisst, einen Zweig, welcher mit einer Platte in der Muskelfaser endigt, kann ich in einem Praeparat hundertfach zeigen. Jeder Zweig des Nerven endigt mit einer granulirten Platte in und nicht auf der contractilen Scheide der Muskelfaser. Die motorischen Endplatten, welche ich zuweilen zu zweien in einer Muskelfaser gesehen habe, befinden sich irgendwo auf der Länge der Muskelfaser, und niemals sind sie in Beziehung weder mit den Kernkörperchen, noch mit dem Kern, noch mit dem protoplasmatischen Cylinder.

Man wird bemerkt haben, dass diese Beobachtungen beim Blutegel im Widerspruch mit denjenigen vieler Autoren sind, welche die höheren Thiere studirt haben: ob man daraus schliessen kann, dass hier das Richtige und dort das Unrichtige ist, oder umgekehrt, will ich unentschieden lassen; aber wenn eine Generalisirung zulässig wäre, dann kommt, der Meinung aller Autoren nach, der Beobachtung an unserem Object ein starkes Gewicht zu, da sie leicht und klar ist.

3. Hr. A. v. Gehuchten aus Löwen (a. G.) hält folgenden Vortrag: Structure intime de la cellule musculaire striée.

Messieurs,

La structure intime de la fibre musculaire striée a été, de tout temps, l'objet de nombreuses recherches; ce qui s'explique facilement, vu l'importance physiologique considérable du tissu musculaire. Vous connaissez tous les travaux anciens de Bowman, Bruecke, Krause, Merkel, Engelmann, et ceux, plus récents, de Retzius, Biedermann, Rollet, Melland et d'autres. Nous nous permettrons donc de passer sous silence l'historique de la question; nous nous contenterons simplement de vous faire connaître les résultats de nos recherches sur la structure intime des fibres musculaires striées des arthropodes.

A notre avis, il faut distinguer, chez les arthropodes, deux espèces de fibres musculaires striées: celles qui servent à mouvoir les ailes ou muscles jaunes et celles qui servent à mouvoir les pattes, appelées aussi muscles blancs.

---

[1] Gscheidlen, a. a. O. S. 332.
[2] *Ebenda.* Taf. XXII. Fig. 11.
[3] Vergl. Gscheidlen, a. a. O. S. 330—331 und Taf. XXII, Fig. 10.

I. Parlons d'abord des muscles des pattes.

Si on examine au microscope une fibre musculaire vivante des pattes, de l'hydrophile par exemple, on voit que cette fibre est formée de bandes alternativement claires et obscures. La bande obscure est plus haute que la bande claire, elle paraît homogène dans toute son étendue et s'étend sans interruption d'un bord de la fibre à l'autre. La bande claire, moins haute que la première, est traversée en son milieu par une ligne obscure (Querwand de Krause) que nous appelons: strie transversale. Si on examine attentivement les diverses stries d'une pareille fibre on voit que la strie transversale n'est pas régulière, mais qu'elle est formée par une série de points reliés les uns aux autres par une ligne transversale. Le liséré clair qui borde de chaque côté cette strie ne présente aucun détail de structure sur la fibre vivante. La bande obscure examinée attentivement se montre traversée, dans toute sa hauteur, par de fines lignes noires, parallèles entre elles et placées à égale distance les unes des autres. Un détail intéressant à noter c'est que chaque ligne longitudinale de la bande obscure se trouve placée mathématiquement en dessous d'un épaississement de la strie transversale. Quelquefois une de ces lignes longitudinales est plus épaisse que les autres: on voit alors manifestement qu'elle traverse la bande claire en passant par un épaississement de la strie.

Si on examine cette fibre musculaire vivante à la lumière polarisée, toute la fibre est brillante après entrecroisement des nicols, sauf les stries transversales. Celles-ci seules sont isotropes ou monoréfringentes.

Prenons maintenant une fibre musculaire fixée par un réactif coagulant, on y retrouve la même succession régulière de bandes claires et de bandes obscures, mais leur aspect a changé. La bande obscure n'est plus homogène; elle est formée par une série d'éléments indépendants les uns des autres, allongés et fusiformes, les sarcous elements de Bowman que nous avons appelés: bâtonnets musculaires. Chaque bâtonnet se trouve placé en dessous d'un épaississement de la strie transversale voisine. La bande claire est traversée par la strie transversale, mais de chaque côté de cette strie apparaît maintenant un détail de structure qui ne se révélait pas sur la fibre vivante: le liséré clair est traversé par de fins filaments qui relient les bâtonnets de la bande obscure aux épaississements de la strie transversale.

A la lumière polarisée, les bâtonnets musculaires seuls sont biréfringents ou anisotropes.

Cette fibre subit facilement la division en disques; cette division se fait toujours dans la bande claire, entre la strie transversale et la bande obscure. Cette fibre se divise aussi facilement en fibrilles. Chaque fibrille est formée par une série longitudinale de bâtonnets musculaires séparés les uns des autres par un épaississement de la strie transversale.

Si on étudie une fibre musculaire vivante qui a été traitée par un réactif dissolvant, l'acide chlorhydrique à $1^0/_0$ par exemple, on voit que l'aspect du muscle a changé complètement. On ne retrouve plus ici ni bandes claires ni bandes obscures: toute la fibre musculaire est réduite à un réseau régulier formé de trabécules longitudinales et transversales. Les trabécules transversales sont placées au même niveau et forment, par leur ensemble, la strie transver-

sale. Les trabécules longitudinales traversent tout l'espace situé entre deux stries transversales et se terminent dans les épaississements que portent ces dernières.

Ces figures sont identiques, à part la couleur, à celles obtenues par la méthode au chlorure d'or.

A la lumière polarisée tout le champ reste noir quand les nicols sont croisés: ce réseau est donc monoréfringent ou isotrope.

Il faut se demander maintenant à quoi correspondent ces trabécules longitudinales et transversales. Doit-on considérer la strie transversale comme la coupe optique d'une membrane transversale? Un fait bien connu des histologistes, c'est que sous l'action des réactifs dissolvants la fibre musculaire se divise facilement en disques. Contrairement à ce que nous avons dit pour les réactifs coagulants, cette division se fait ici dans la bande obscure. Quand un de ces disques tombe à plat dans le champ du microscope, il nous représente une coupe transversale du muscle au niveau de la strie. On voit alors manifestement qu'il n'existe pas là une membrane pleine, mais un simple réseau transversal à mailles polygonales. Aux points de jonction des trabécules on observe des épaississements.

Une question très controversée encore est celle de savoir si les trabécules longitudinales sont de simples filaments ou bien si elles représentent la coupe optique de membranes longitudinales. Pour résoudre cette question il suffit d'examiner attentivement une de ces trabécules en faisant mouvoir la vis micrométrique. On se convainc alors aisément que ces trabécules sont des filaments puisqu'elles ne sont visibles que pour une seule installation du foyer du microscope. Dans un travail récent[1] Ramón y Cajal est arrivé à la même conclusion.

Il existe donc, dans la fibre musculaire striée des pattes des arthropodes, une partie qui est soluble dans les réactifs dissolvants et une autre partie qui est réfractaire à l'action des mêmes réactifs. Cette dernière est organisée et affecte la forme d'un réseau: c'est le réticulum plastinien. La seconde partie forme un liquide plus ou moins pâteux, riche en albumines et surtout en myosine: c'est l'enchylème myosique. Ces deux parties préexistent dans la fibre vivante: la strie transversale de la bande claire et les filaments longitudinaux qu'on trouve dans la bande obscure appartiennent au réticulum; le fond mat et homogène de la bande obscure représente l'enchylème myosique. Ces deux parties se retrouvent encore dans un muscle fixé par un réactif coagulant, mais ici l'enchylème myosique a subi quelques modifications: l'alcool mis en contact avec une fibre musculaire exerce son action sur les deux parties constitutives: sur le réticulum qu'il rend raide et cassant, sur l'enchylème myosique dont il coagule les substances albuminoïdes. Mais où se fait cette coagulation? Román y Cajal croit qu'elle a lieu dans les mailles même du réticulum. D'après nos observations cette coagulation se fait autour des trabécules longitudinales de ce réseau. Si la coagulation des albuminoïdes se faisait dans les mailles, on devrait retrouver, dans des dissociations bien faites, des restes de ce réticulum entre les bâtonnets musculaires. C'est ce que nous n'avons jamais observé. D'un autre côté nous avons vu que les trabécules longitudinales du

---

[1] Ramón y Cajal, *Observations sur la texture des fibres musculaires des pattes et des ailes des insectes*; — *Internationale Monatsschrift für Anatomie und Physiologie*. 1888. Bd. V. Hft. 6. S. 205—232.

réticulum étaient toujours placées en dessous des épaississements de la strie transversale: or les bâtonnets musculaires occupent la même place; de plus, très souvent, nous avons vu la trabécule longitudinale émerger à l'extrémité du bâtonnet musculaire pour se terminer dans la strie transversale.

Cette façon de comprendre la structure musculaire explique, d'une manière très simple, la production des disques et la production des fibrilles dans un muscle fixé par l'alcool. Les fibrilles résultent de la rupture des trabécules transversales tandis que les disques sont dûs à la rupture des trabécules longitudinales sous une action mécanique un peu violente.

Elle explique aussi la production de disques sous l'action de réactifs dissolvants. Ces réactifs commencent en effet par gonfler l'enchylème myosique avant de le dissoudre. Ce gonflement amène la rupture du réseau aux endroits où il est le plus faible, c'est-à-dire, dans l'espace compris entre deux stries transversales.

Ainsi tombe donc la barrière qui séparait depuis si longtemps la structure de la fibre musculaire striée de celle d'une cellule ordinaire. Si on compare, en effet, une fibre musculaire striée à une cellule ordinaire, on y retrouve les mêmes éléments: membrane, noyaux et protoplasme. Dans le protoplasme même on retrouve la même structure: un réticulum et un enchylème, mais le premier s'est régularisé et le second s'est chargé d'albumines et de myosine.

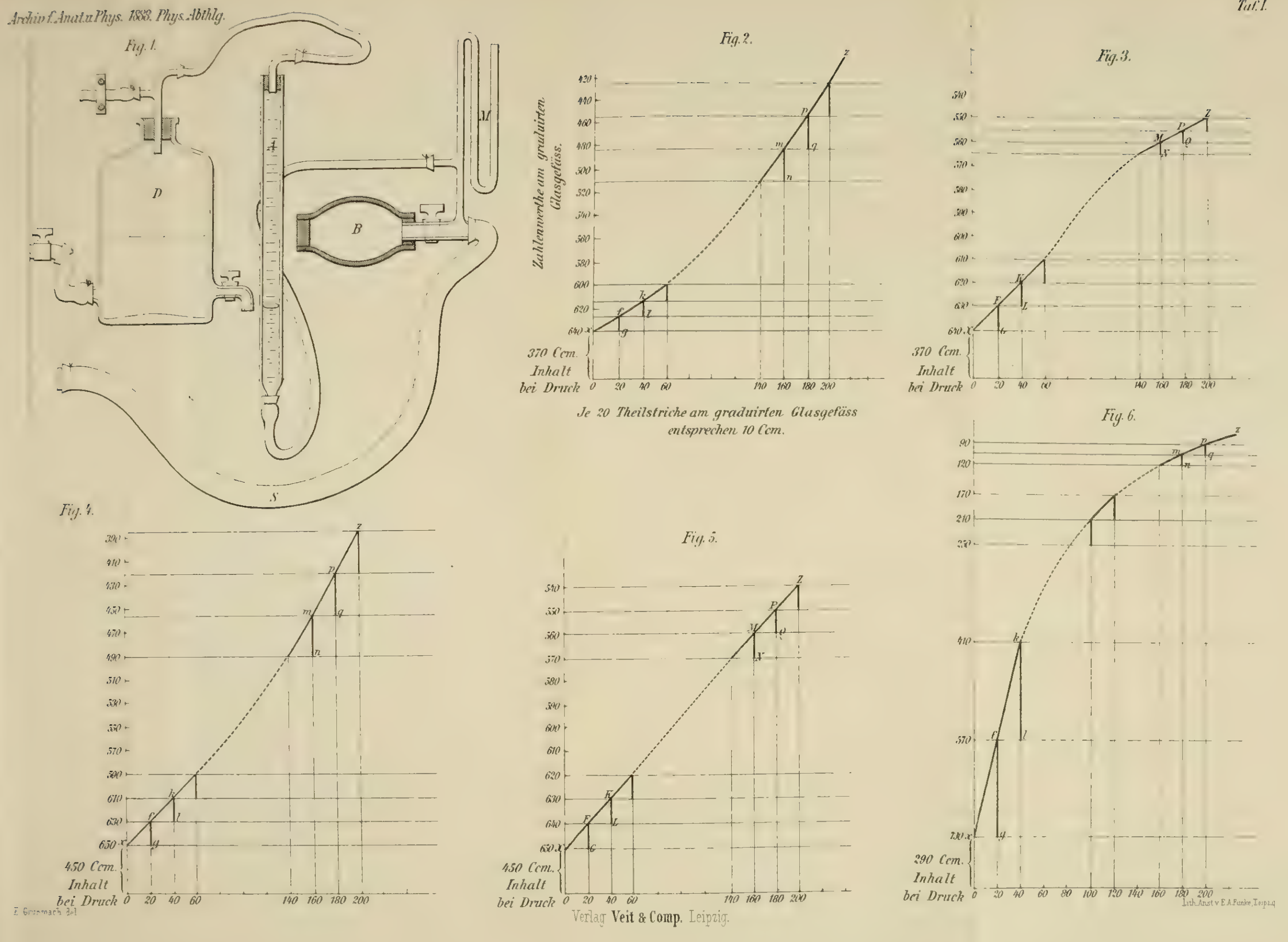
C'est là l'image la plus simple d'une fibre musculaire striée. Quelquefois cependant elle présente une structure plus compliquée. La bande obscure est souvent traversée en son milieu par une ligne claire: la strie de Hensen. Les dissolvants nous apprennent que cette strie résulte simplement d'un épaississement médian des trabécules longitudinales. D'autres fois la bande claire présente des disques accessoires. Ceux-ci aussi doivent être considérés comme des épaississements des trabécules du réticulum.

II. Les fibres musculaires des ailes ont une structure tout à fait différente. Ici on retrouve les fibrilles décrites par Krause. Chaque fibrille est un tube cylindrique divisé en cases par des membranes transversales complètes. L'enchylème myosique remplit ces cases. Ces fibrilles sont réunies les unes aux autres par une substance granuleuse interfibrillaire de manière à former des faisceaux de volume variable. Ces faisceaux sont dépourvus de sarcolemme. Pour Ramón y Cajal la substance granuleuse interfibrillaire correspond aux trabécules longitudinales des fibres de pattes, mais d'où vient alors la membrane qui entoure les fibrilles musculaires des ailes? De plus les fibrilles musculaires de la pince de l'Astacus fluviatilis sont dépourvues de substance granuleuse interfibrillaire et pourtant elles ont la même structure que les fibrilles musculaires des ailes de l'Hydrophile.

Nous avons étudié, dans ces derniers temps, la structure intime de la fibre musculaire striée des Vertébrés. Nous avons trouvé partout la même structure que pour les muscles des pattes. Notons cependant que les mailles du réticulum y sont beaucoup plus étroites, et que nous n'avons jamais rencontré dans ces muscles de disques accessoires.

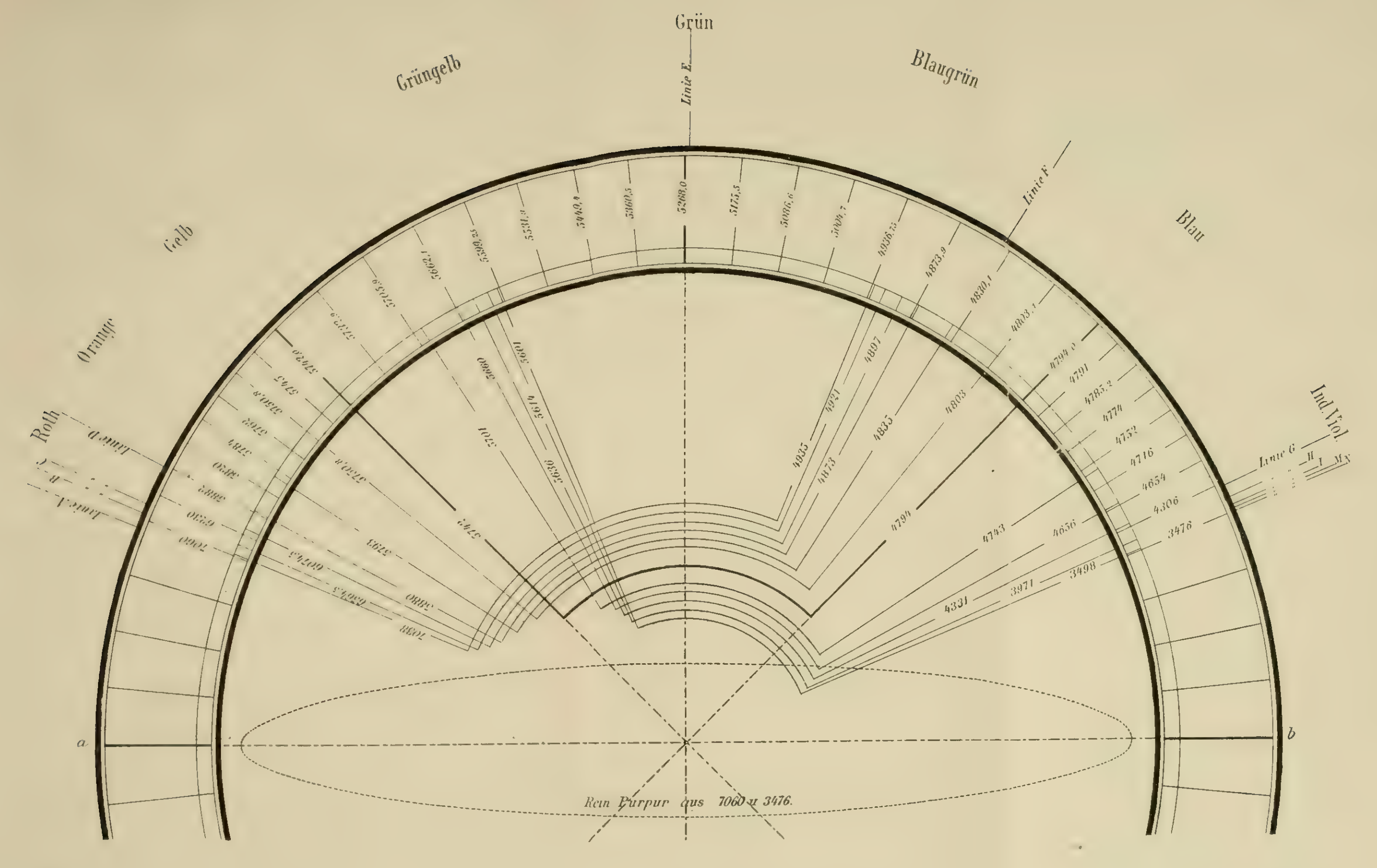
Avant de terminer, nous voudrions dire encore quelques mots des noyaux musculaires de la grenouille. Ces noyaux ont toujours été décrits comme des corps ovalaires renfermant un ou deux nucléoles. Nous avons exposé une pré-

paration dans laquelle vous verrez manifestement que ces noyaux ont une structure plus compliquée. A première vue on trouve, dans tous ces éléments, des tronçons parallèles de substance chromatique. En parcourant la préparation et en étudiant les noyaux les plus pauvres en nucléine, on voit que cette disposition est due à l'existence, dans l'intérieur du noyau, d'un filament nucléinien continu enroulé en spirale. Nous croyons que ce fait a une certaine importance. Beaucoup d'auteurs croient que l'existence d'un filament chromatique continu indique le premier stade de la division nucléaire (Knäuelstadium). Il est évident que cette disposition est, dans le cas présent, la structure normale du noyau au repos.



Archiv f. Anat. u. Phys. 1888. Phys. Abthlg.
Taf. I.
Fig. 1.
D
A
B
M
S
Fig. 2.
Zahlenwerthe am graduirten Glasgefäss.
370 Ccm. Inhalt bei Druck
Je 20 Theilstriche am graduirten Glasgefäss entsprechen 10 Ccm.
Fig. 3.
370 Ccm. Inhalt bei Druck
Fig. 4.
450 Ccm. Inhalt bei Druck
Fig. 5.
450 Ccm. Inhalt bei Druck
Fig. 6.
290 Ccm. Inhalt bei Druck
Verlag Veit & Comp. Leipzig.




Grün
Linie E
Grüngelb
Blaugrün
Gelb
Orange
Roth
Blau
Ind. Viol.
Linie F
Linie G
Linie D
5268,0
5175,5
5086,6
5360,5
5449,4
Rein Purpur aus 7060 u. 3476.
a
b

Veit & Comp.



Fig. 1.

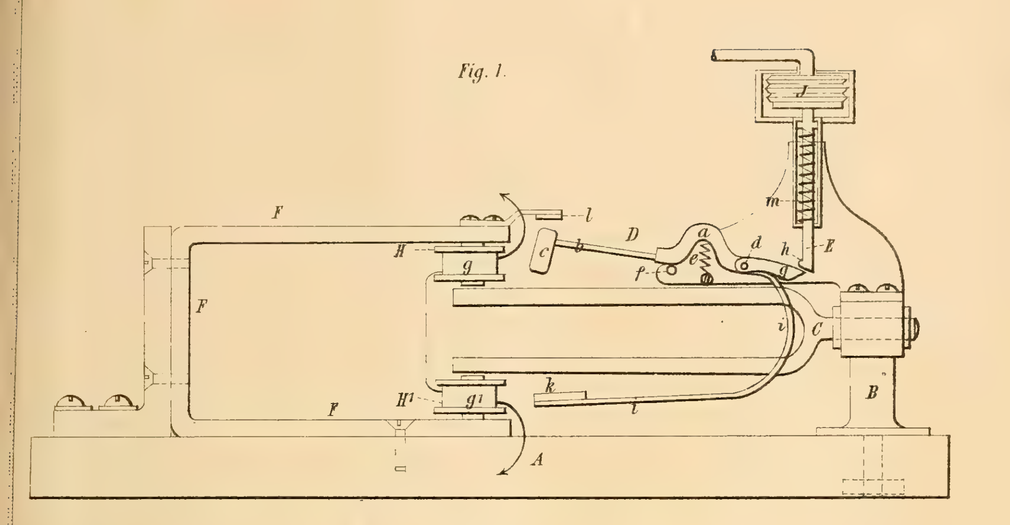


Fig. 2.

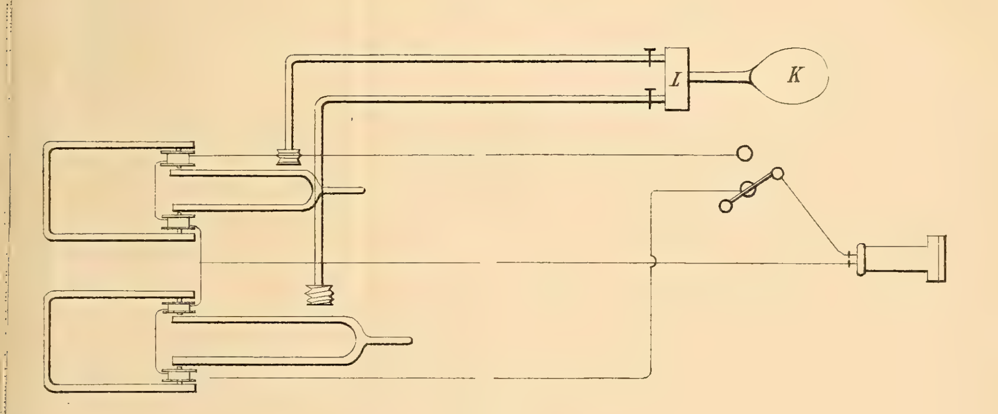
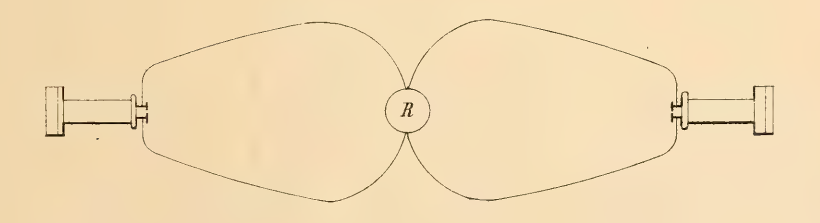


Fig. 3.



Verlag **Veit & Comp**, Leipzig.

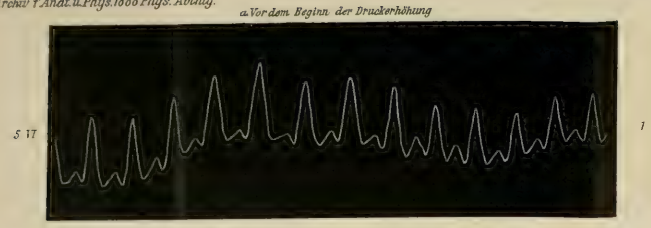
Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.



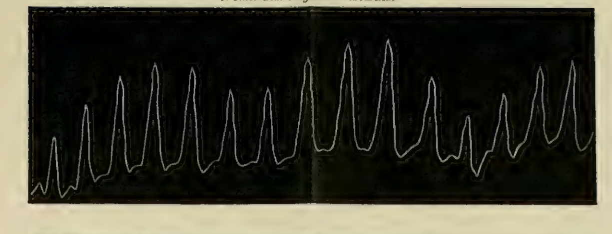
a. Vor dem Beginn der Druckerhöhung

b. Unter dem steigenden Luftdrucke

5. VI

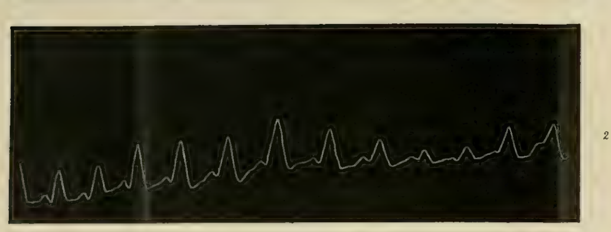


1

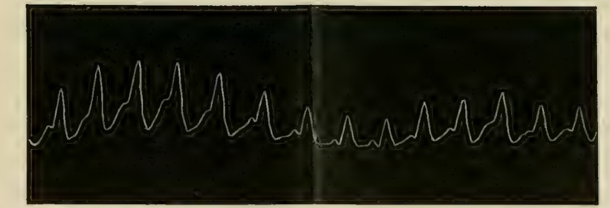


5

7. VI

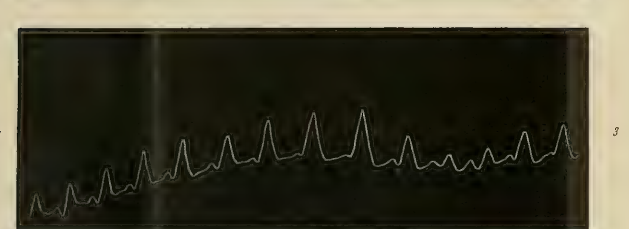


2

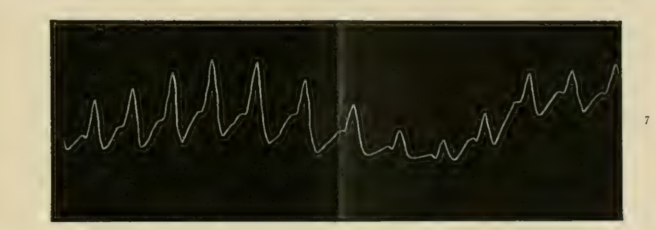


6

7. VI

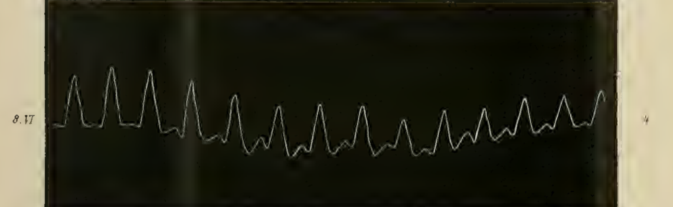


3

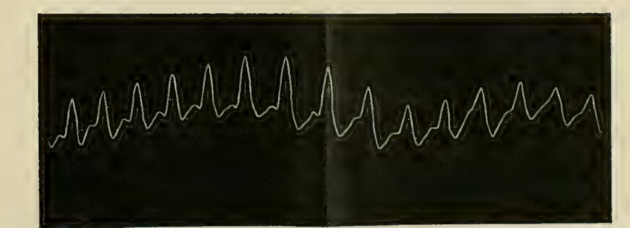


7

8. VI



4



8

Verlag Veit & Comp, Leipzig

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig



a Unter dem bleibend erhöhtem Luftdrucke

5 17 — 9

7 17 — 10

7 17 — 11

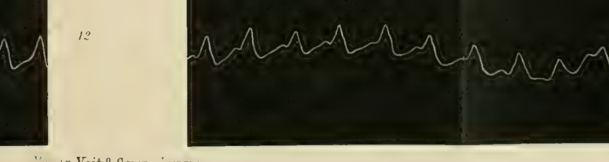
8 17 — 12

b Unter dem fallenden Luftdrucke

13

14

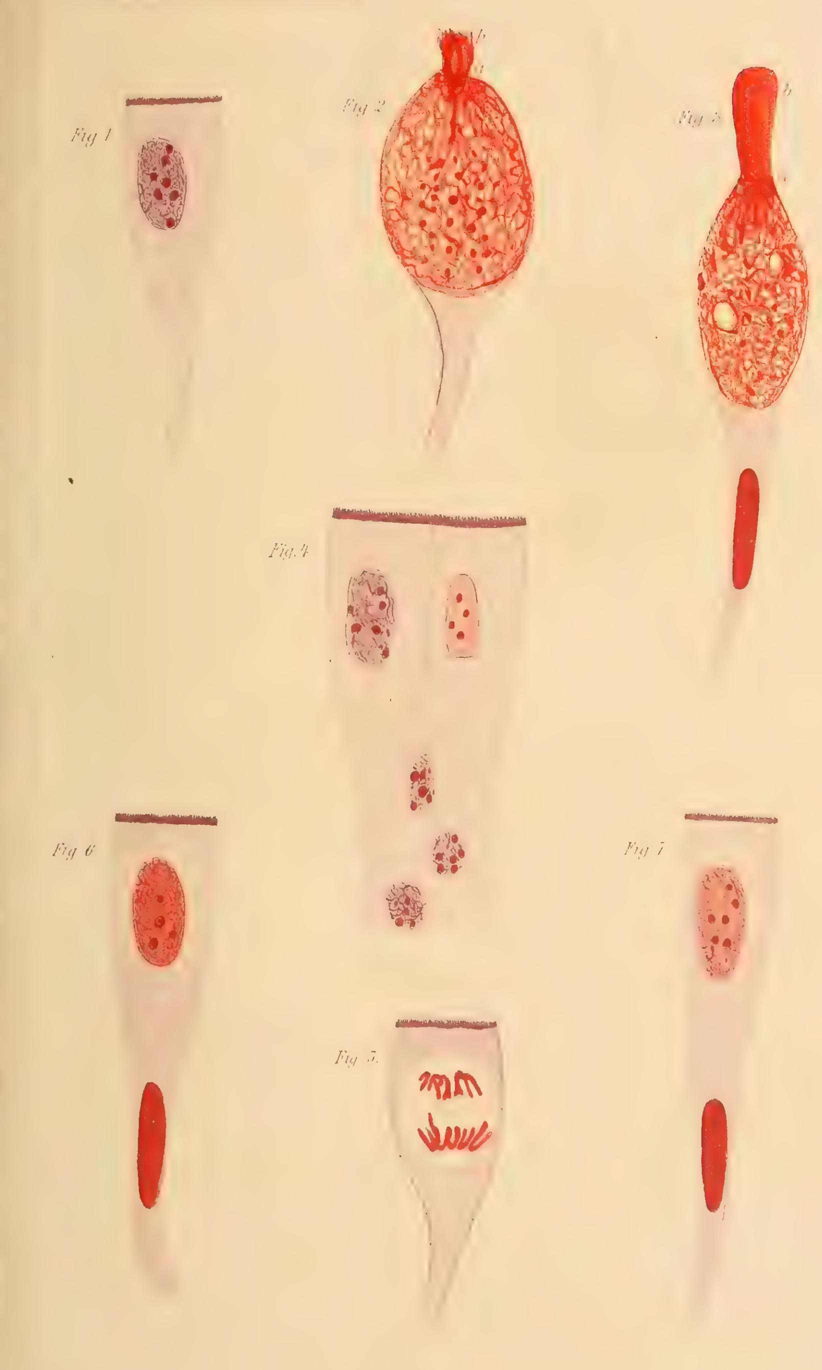
15



16

Verlag Veit & Comp. Leipzig





Verlag Veit & Comp. Leipzig.

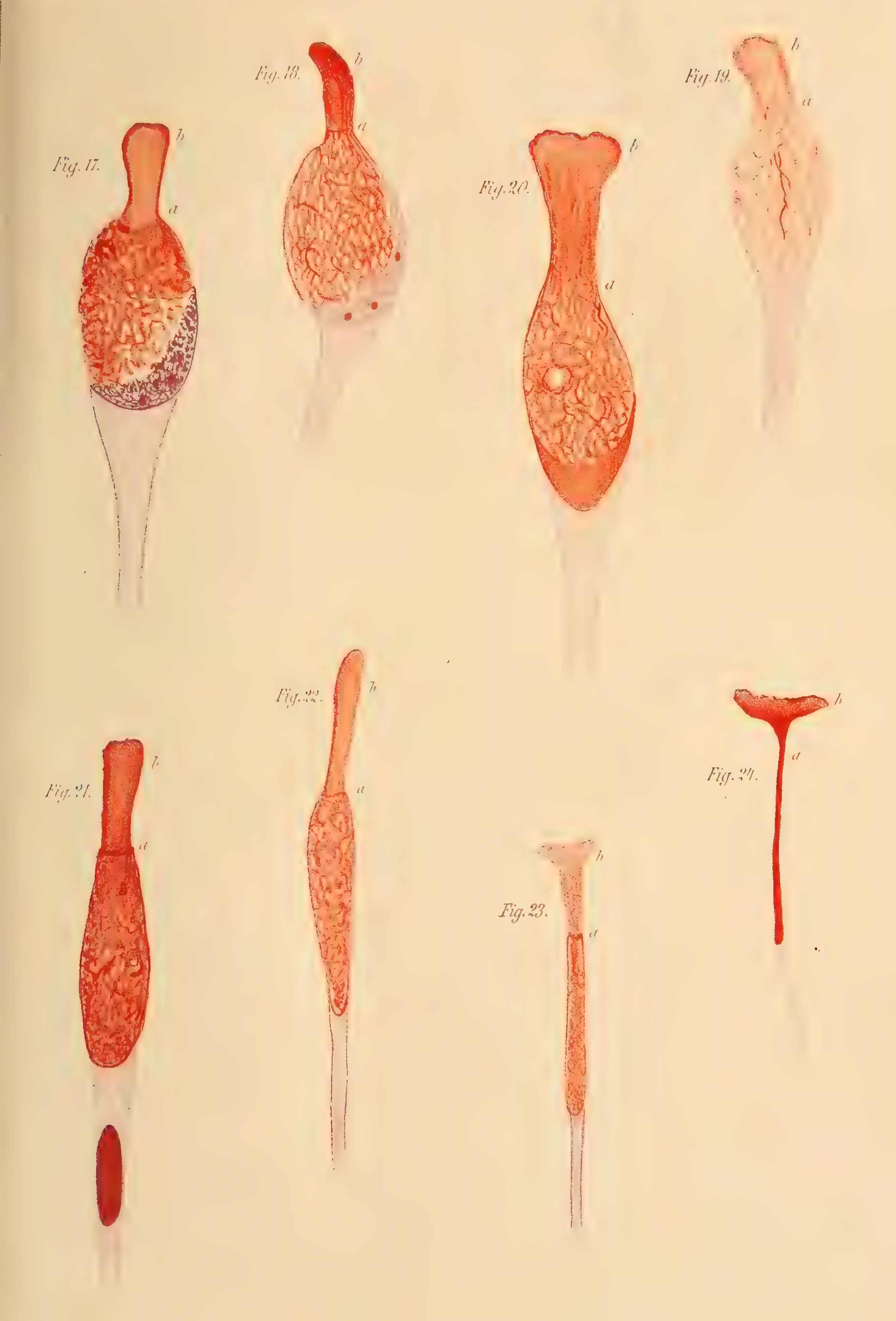
Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig



J. Steinhaus pinxit.

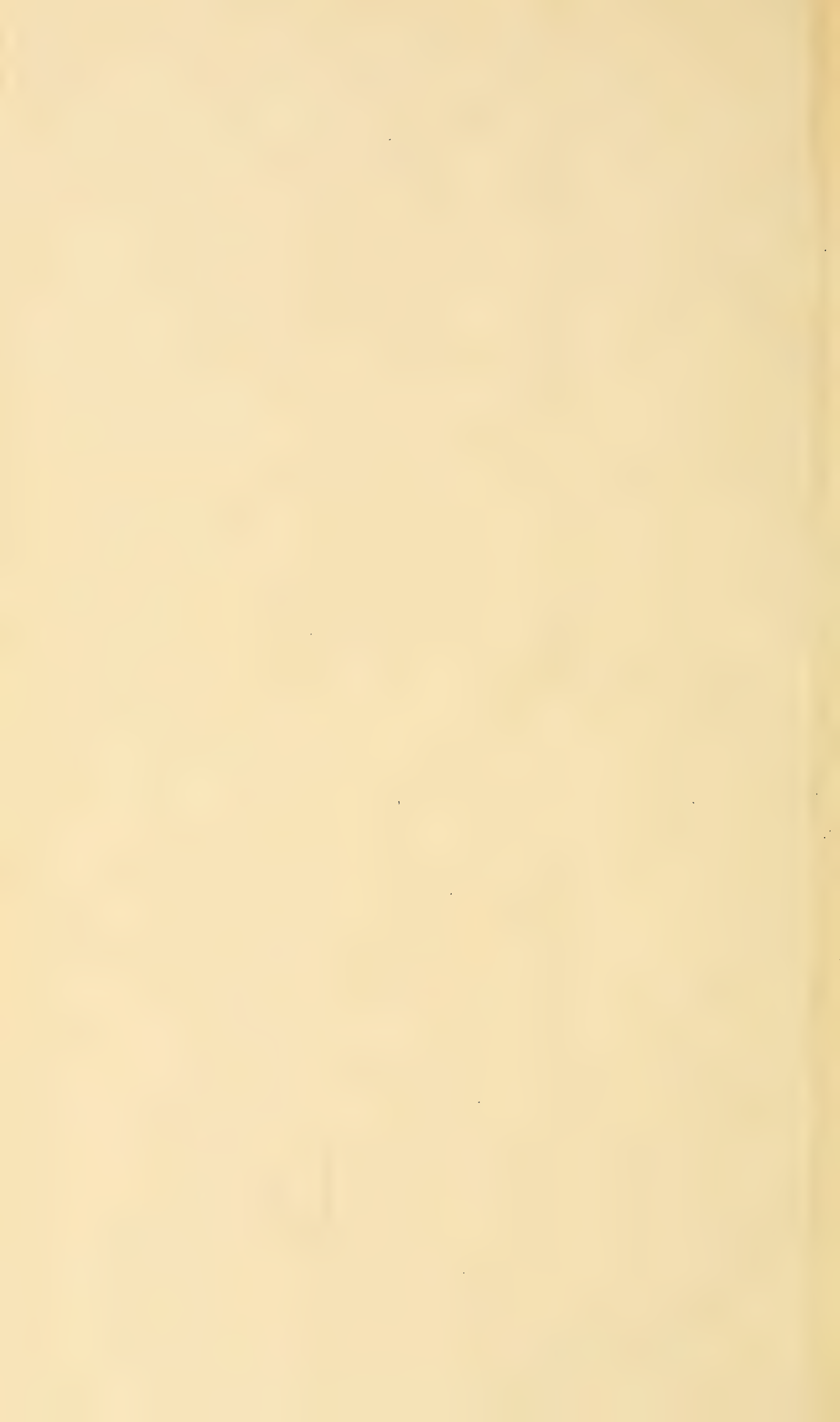
Verlag Veit & Comp. Leipzig.





Verlag Veit & Comp. Leipzig.

Lith. Anst. v. E. A. Funke, Leipzig.



ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

FORTSETZUNG DES VON REIL, REIL U. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT U. DU BOIS-REYMOND HERAUSGEGEBENEN ARCHIVES.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. WILH. HIS UND DR. WILH. BRAUNE,
PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

DR. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1888.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG.

ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT ZWEI ABBILDUNGEN IM TEXT UND ZWEI TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1888.

(Ausgegeben am 20. März 1888.)

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis.

Beiträge für die **anatomische Abtheilung** sind an

Professor Dr. **W. His** oder Professor Dr. **W. Braune**

in Leipzig,

Beiträge für die **physiologische Abtheilung** an

Professor Dr. **E. du Bois-Reymond**

in Berlin, N.W., Neue Wilhelmstrasse 15,

portofrei einzusenden. — **Zeichnungen** zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf **vom Manuscript getrennten** Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, **unter Berücksichtigung** der Formatverhältnisse des Archives, denselben eine **Zusammenstellung**, die dem Kupferstecher oder Lithographen als Vorlage dienen kann, beizufügen.

ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

Fortsetzung des von REIL, REIL u. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT u. DU BOIS-REYMOND herausgegebenen Archives.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. WILH. HIS und Dr. WILH. BRAUNE,
PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

Dr. EMIL DU BOIS-REYMOND,
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1888.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG.

DRITTES UND VIERTES HEFT.

MIT EINUNDDREISSIG ABBILDUNGEN IM TEXT UND SECHS TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1888.

(Ausgegeben am 15. Juni 1888.)

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis.

Beiträge für die **anatomische Abtheilung** sind an

Professor Dr. **W. His** oder Professor Dr. **W. Braune**
in Leipzig,

Beiträge für die **physiologische Abtheilung** an

Professor Dr. **E. du Bois-Reymond**
in Berlin, N.W., Neue Wilhelmstrasse 15,

portofrei einzusenden. — **Zeichnungen** zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf **vom Manuscript getrennten** Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, **unter Berücksichtigung** der Formatverhältnisse des Archives, denselben eine **Zusammenstellung,** die dem Kupferstecher oder Lithographen als Vorlage dienen kann, beizufügen.

ARCHIV

FÜR

ANATOMIE UND PHYSIOLOGIE.

Fortsetzung des von REIL, REIL u. AUTENRIETH, J. F. MECKEL, JOH. MÜLLER, REICHERT u. DU BOIS-REYMOND herausgegebenen Archives.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. WILH. HIS und Dr. WILH. BRAUNE,
PROFESSOREN DER ANATOMIE AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG,

UND

Dr. EMIL DU BOIS-REYMOND.
PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT BERLIN.

JAHRGANG 1888.

PHYSIOLOGISCHE ABTHEILUNG.

FÜNFTES UND SECHSTES HEFT.

MIT ZWANZIG ABBILDUNGEN IM TEXT.

LEIPZIG,
VERLAG VON VEIT & COMP.
1888.

Zu beziehen durch alle Buchhandlungen des In- und Auslandes.
(Ausgegeben am 5. October 1888.)

Inhalt.

Die Herren Mitarbeiter erhalten *vierzig* Separat-Abzüge ihrer Beiträge gratis.

Beiträge für die **anatomische Abtheilung** sind an

Professor Dr. **W. His** oder Professor Dr. **W. Braune**
in Leipzig,

Beiträge für die **physiologische Abtheilung** an

Professor Dr. **E. du Bois-Reymond**
in Berlin, N.W., Neue Wilhelmstrasse 15,

portofrei einzusenden. — **Zeichnungen** zu Tafeln oder zu Holzschnitten sind auf **vom Manuscript getrennten** Blättern beizulegen. Bestehen die Zeichnungen zu Tafeln aus einzelnen Abschnitten, so ist, **unter Berücksichtigung** der Formatverhältnisse des Archives, denselben eine **Zusammenstellung,** die dem Kupferstecher oder Lithographen als Vorlage dienen kann, beizufügen.



